

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
UNIDADE DE PÓS-GRADUAÇÃO, EXTENSÃO E PESQUISA
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E TECNOLOGIA
EM SISTEMAS PRODUTIVOS

Reinaldo José de Oliveira

A APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE SIMULAÇÃO NUMÉRICA E A
COMPETITIVIDADE DAS INDÚSTRIAS DE FUNDIÇÃO DE METAIS DO
BRASIL: UM ESTUDO EXPLORATÓRIO

São Paulo
Março/2015

Reinaldo José de Oliveira

A APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE SIMULAÇÃO NUMÉRICA E A
COMPETITIVIDADE DAS INDÚSTRIAS DE FUNDIÇÃO DE METAIS DO
BRASIL: UM ESTUDO EXPLORATÓRIO

Dissertação apresentada como exigência parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, no Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos, sob a orientação do Prof. Dr. Antonio César Galhardi.

São Paulo

Março/2015

Reinaldo José de Oliveira

A APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE SIMULAÇÃO NUMÉRICA E A
COMPETITIVIDADE DAS INDÚSTRIAS DE FUNDIÇÃO DE METAIS DO
BRASIL: UM ESTUDO EXPLORATÓRIO

Orientador (a) Prof.(a) Dr.(a) ANTONIO CÉSAR GALHARDI

Membro Externo Prof.(a) Dr.(a) FÁBIO HENRIQUE PEREIRA

Membro Interno Prof.(a) Dr.(a) GETÚLIO KAZUE AKABANE

São Paulo, 27 de março de 2015.

À minha esposa Cátia Barros e minha filha
Maria Fernanda que muito me apoiam e
compreendem as minhas ausências.

AGRADECIMENTOS

À Deus, em primeiro lugar, pela vida e por toda força que me deu não só período dos meus estudos, mas sempre. Aos meus pais por tudo o que fizeram por mim, pela formação pessoal e pela base educacional que não mediram esforços em me oferecer.

À minha esposa Cátia Barros, que sempre me incentivou a estudar, que me deu apoio nas horas difíceis e me ajudou a chegar até aqui. À minha filha Maria Fernanda, que mesmo tão nova, com apenas oito anos, tanto me apoia e compreende as minhas ausências.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Antonio César Galhardi, pela orientação, direcionamento e delineamento da pesquisa. Aos demais professores do programa, por todo o conhecimento transmitido, pela paciência e até mesmo tolerância, muitas vezes. Aos meus colegas de sala, pelo apoio e aconselhamento durante nossas aulas.

Aos diretores da empresa MAGMA Engenharia do Brasil pelo apoio incondicional e pela compreensão da importância desta pesquisa. A todos os demais colegas que me ajudaram com informações e me apoiaram no trabalho.

Às empresas que contribuíram com os estudos de casos e aos profissionais que não mediram esforços em contribuir com a pesquisa científica, nas entrevistas e no envio de informações.

Aos amigos, sem citar nomes e a todos àqueles que direta ou indiretamente fizeram parte deste projeto fantástico.

“Sua meta é ser melhor do mundo naquilo que
você faz. Não existem alternativas.”

(Vicente Falconi)

RESUMO

OLIVEIRA, Reinaldo José de. **A aplicação da tecnologia de simulação numérica e a competitividade das indústrias de fundição de metais do Brasil: um estudo exploratório**, 119 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2015.

O presente trabalho tem por objetivo identificar e compreender ganhos de produtividade no setor de fundição de metais no Brasil, decorrentes do uso da tecnologia de simulação numérica do processo de fundição de metais. O setor de fundição de metais no Brasil caracteriza-se por um conjunto de 1,3 mil empresas, que geram aproximadamente 70 mil empregos. Desde 2005, o Brasil é o sétimo maior produtor mundial de fundidos. No Estudo Exploratório desta pesquisa utilizou-se inicialmente uma Survey com usuários de um software comercial de simulação numérica, chamado MAGMA⁵, reunidos em um Seminário Técnico, realizado em 15 e 16 de agosto de 2013, para que fossem feitas as primeiras observações e delineamento da pesquisa de campo em empresas, principalmente para a elaboração das questões semiestruturadas a serem utilizadas em entrevistas. Foram realizados estudos de casos múltiplos em oito empresas de fundição de metais, onde além da observação direta, da coleta de dados e documentos, foram entrevistados dezesseis funcionários. A limitação do estudo está restrita a apenas empresas usuárias dos aplicativos da empresa Magma, uma vez que foi por meio desta que se conseguiu a identificação dos casos e a respectiva permissão para o estudo. Os principais resultados observados apontam a possibilidade de obtenção de ganhos de produtividade e de boa relação com a competitividade e vantagem competitiva de baixo custo, que podem fazer frente à forte concorrência global do setor: redução no tempo de desenvolvimento dos projetos, redução do refugo de produção, obtenção de maior rendimento metálico, diminuição no número de testes práticos, melhor aproveitamento dos insumos e recursos de produção e aumento do conhecimento técnico dos profissionais que trabalham com a simulação numérica em fundição de metais.

Palavras-chave: Simulação numérica; Fundição de metais; Competitividade; Produtividade; Vantagem competitiva.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Reinaldo José de. **The application of numerical simulation technology and competitiveness of foundry industries of Brazil metals: an exploratory study.** 119 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2014.

This study aims to identify and understand the productivity gains in the metals casting industry in Brazil, arising from the use of numerical simulation technology of metal casting process. The metal casting industry in Brazil is characterized by a set of 1300 companies that generate approximately 70 000 jobs. Since 2005, Brazil is the seventh largest producer of castings. In the exploratory study of this research was used initially one Survey users with a commercial software of numerical simulation, by name MAGMA⁵, meeting in a Technical Workshop, held on 15 and 16 August 2013, where were made the first observations and researched companies, mainly for the preparation of semi-structured questions to be used in interviews. The case studies were performed in eight foundries, where in addition to direct observation, collection of data and documents, sixteen employees were interviewed. This study is restricted to only users of enterprise application MAGMA⁵, of the Magma Engenharia company, since it was through this that we managed to identify the cases and for permission to study. The main results observed indicate the possibility of obtaining productivity gains and correlation with competitiveness and competitive advantage of low costs, that can cope with the strong global competition in the sector: reduction in development time of projects, reduction of scraps, obtaining higher metal yield, decrease in the number of practice tests, better use of inputs and production resources and increase the technical knowledge of professionals working with the numerical simulation in metal casting.

Keywords: Numerical simulation; Metal casting; Competitiveness; Productivity; Competitive advantage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01:	O modelo da dinâmica da competitividade.....	22
Figura 02:	A busca da competitividade	24
Figura 03:	As cinco forças competitivas	25
Figura 04:	Elementos de custo	29
Figura 05:	Sequência de preparação de um molde em areia	33
Figura 06:	Esquema simplificado de canais para fundição por gravidade	33
Figura 07:	Sequência das operações na fundição de um metal em molde de areia.....	36
Figura 08:	Classificação dos processos de fundição de peças.....	37
Figura 09:	Exemplo de rechupe em peça de alumínio injetado.....	39
Figura 10:	Rechupe detectado por Raios-X à esquerda e por tomografia à direita.....	39
Figura 11:	Evolução da solidificação do produto observado por meio da simulação	40
Figura 12:	Procedimento simplificado para aplicação da simulação numérica	42
Figura 13:	Taxa média de rejeição entre usuários e não usuários de simulação	46
Figura 14:	Esquema do Procedimento tradicional.....	48
Figura 15:	Esquema do Procedimento sem utilização de amostras prévias	48
Figura 16:	A concepção e a função do questionário.....	53
Figura 17:	Método de estudo de casos múltiplos	57
Figura 18:	Anos de experiência do usuário trabalhando em Fundição	65
Figura 19:	Tempo de experiência no uso do software.....	65
Figura 20:	Tempo de desenvolvimento de um projeto	66
Figura 21:	Avaliação dos resultados do uso do software	67
Figura 22:	Ganhos de escala com economia de metal.....	90
Figura 23:	Controle de refugo da empresa Nematik.....	93
Figura 24:	Descontinuidades encontradas após usinagem	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 01:	Projeto de fundição – Comparativo entre o uso da simulação e a prática	92
Tabela 02:	Dados de refugo da empresa Sada Siderurgia.....	92
Tabela 03:	Percentual de projetos desenvolvidos dentro do prazo	94
Tabela 04:	Amostras aprovadas na primeira produção	96

LISTA DE QUADROS

Quadro 01:	Empresas pesquisadas nos casos múltiplos.....	62
Quadro 02:	Caracterização dos entrevistados	63
Quadro 03:	Uso da tecnologia de SNPFM.....	69
Quadro 04:	Tempo para desenvolvimento de produto.....	72
Quadro 05:	Resultados obtidos com o uso da tecnologia de SNPFM	74
Quadro 06:	Competitividade na indústria de fundição com uso da SNPFM.....	76
Quadro 07:	Motivos para implantar a tecnologia de SNPFM.....	78
Quadro 08:	Como mensurar os resultados obtidos com o uso da simulação.....	80
Quadro 09:	Geração de conhecimento com o uso da simulação.....	82
Quadro 10:	Grau de utilização do software de simulação	84
Quadro 11:	Vantagem competitiva	86
Quadro 12:	Barreiras enfrentadas no uso da simulação	88

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A: Questões de pesquisa utilizadas na Survey.....	112
Apêndice B: Modelo de carta enviado às empresas para aprovação do estudo de casos ...	116
Apêndice C: Roteiro utilizado nos estudos de casos múltiplos... ..	117

LISTA DE SIGLAS

ABIFA	Associação Brasileira de Fundição
APQP	<i>Advanced Product Quality Planning</i>
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CIM	<i>Computer Integrated Manufacturing</i>
CNC	Comando numérico computadorizado
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CT	<i>Computer Tomography</i>
DOE	<i>Design of Experiments</i>
FDM	Método das diferenças finitas
FEM	Método dos elementos finitos
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NPDS	<i>Nemak Product Development System</i>
PMBOOK	<i>Project Management Body of Knowledge</i>
PMI	<i>Project Management Institute</i>
SNPFM	Simulação Numérica do Processo de Fundição de Metais
STP	Sistema Toyota de Produção
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa e relevância.....	18
1.2 Objetivo	19
1.3 Questões de pesquisa	19
1.4 Delimitação do trabalho.....	19
1.5 Estrutura da dissertação	20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 Competitividade e vantagem competitiva	21
2.2 Algumas definições de gastos, custos e despesas.....	28
2.3 Manufatura enxuta.....	30
2.4 O processo de fundição de metais	31
2.4.1 Exemplo de defeito decorrente do processo de fundição	38
2.5 Simulação Numérica do Processo de Fundição de Metais (SNPFM)	40
2.5.1 Caso de aplicação da simulação na aprovação dimensional de fundidos.....	47
3 METODOLOGIA	50
3.1 Classificação da pesquisa	50
3.2 Delineamento da pesquisa	51
3.3 Fase 1 – Survey	51
3.3.1 A pesquisa Survey	54
3.4 Fase – 2: Estudo de casos múltiplos	55
3.4.1 Etapas de um estudo de casos e utilização nesta pesquisa	57
3.5 Coleta de dados e análise documental	61
4 RESULTADOS e DISCUSSÃO	64
4.1 Survey.....	64
4.2 Estudo de casos múltiplos	68
4.3 Análise documental e visita aos sites das empresas	90
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
6 CONCLUSÃO.....	104
REFERÊNCIAS	105

1 INTRODUÇÃO

O processo de fundição de metais tem seu início ainda na época pré-histórica (ROSSITTI, 1993). Possui por características básicas a fusão do metal e o preenchimento em moldes, com a finalidade de produzir peças requeridas, por meio de diferentes processos. Contudo, somente nas últimas quatro décadas, a solidificação dos metais e suas ligas começaram a ser investigados com critérios e metodologias científicas (BRAGA, 1992).

Dentre as vantagens do processo de fundição destaca-se a capacidade de produção de peças complexas, com tolerâncias dimensionais restritas, em função da facilidade de modelar o metal líquido exatamente como projetado, e a versatilidade. É possível produzir peças fundidas com poucos gramas até dezenas de toneladas (SOARES, 2000).

Segundo dados da ABIFA (2014) a indústria brasileira de fundição emprega cerca de 66.000 trabalhadores. Faturou 11,6 bilhões de dólares em 2013 e possui cerca de 1.300 empresas (base 2013). A maioria dessas empresas é de pequeno e médio porte, com predomínio do capital nacional. No cenário mundial o Brasil é o 7º produtor de fundidos superando, por exemplo, países como: Coreia, Itália e França (MODERN CASTING, 2014).

A produção de peças técnicas fundidas em ferro, aço e ligas não ferrosas se destina, principalmente, aos seguintes setores da economia:

- a) Automotivo: é uma das principais atividades econômicas do Brasil. Em 2014 produziu-se mais de três milhões e cem mil veículos (ANFAVEA, 2015). O mercado interno brasileiro é o quarto maior do mundo (ABIFA, 2014). São alguns exemplos de peças fundidas para o mercado automotivo: rodas, cabeçotes, blocos de motor, pistões, eixo comando, virabrequim, tambor de freio, caliper, peças de suspensão, diferencial, mancais, coletores, cubo de roda e carcaça de volante.
- b) Máquinas e equipamentos: é um segmento importante do mercado consumidor de peças fundidas, por exemplo: base de máquina, engrenagens, carcaça de transmissão e de redutor, caixa de engrenagem, travessa, cruzeta, suporte e flange.
- c) Energia: a característica das peças fundidas que são fornecidas para o mercado de geração de energia tem destaque pelas grandes dimensões e complexidade técnica. São peças típicas fornecidas para o mercado de geração de energia eólica, em forte expansão no Brasil: hub para turbina eólica, *spindles*, rotor e base suporte. Também na hidrogeração são utilizadas peças fundidas de elevada

responsabilidade técnica e controle, tais como: pás de turbina, cintas, rotores, cubo, palheta, munhão, bucha e carcaça.

- d) Ferroviário: é um mercado importante, consumidor de peças fundidas, destaque para os produtos em aço, tais como lateral e travessa para truques de vagões ferroviários, discos de freio, peças para locomotiva e carcaça de motor elétrico.
- e) Mineração: este mercado apresenta demanda por peças fundidas, tipicamente de ligas de aço, tais como: mandíbulas e cunhas para britadores, mantos e revestimentos, cones, barras para britadores, placas de revestimento para moinhos, martelos para britadores, rolete, carro grelha, *trumbler*, cabeça, bojo e sapata.
- f) Agrícola: outro setor importante da economia para o qual são fornecidas peças fundidas. Um percentual bastante considerável em peso de um implemento agrícola ou trator são peças produzidas em fundição, em sua maioria de ferro fundido e aço. Alguns exemplos de peças fundidas: terminador, ponteira, facão, cubo de roda, carcaças de transmissão, central, diferencial e coletores.
- g) Sucroenergético: as peças fundidas para este setor são utilizadas desde as colheitadeiras até as usinas de processamento para fabricação de açúcar e álcool, tais como: camisa de moenda, bagaceira, rodete, casquilhos, carcaças e bombas.

As peças fundidas para aplicação técnica normalmente apresentam uma ou mais, dentre estas características: (a) alta complexidade; (b) elevadas dimensões e peso; (c) requisitos de engenharia; (d) um processo de fabricação com muitas variáveis; (e) grandes lotes de fabricação; e (f) elevada exigência dos clientes.

Como ferramenta de engenharia, a simulação numérica, valendo-se da evolução computacional, tem sido utilizada como suporte à tomada de decisão nas indústrias de manufatura (OLIVEIRA; GUESSER e BAUMER, 2003). A simulação provê uma base importante de informação para a tomada de decisão em relação à execução dos projetos dos ferramentais para fabricação das peças fundidas (VIEIRA, 2006).

Existem softwares que simulam o processo de fundição, possibilitando a visualização do comportamento do metal ao preencher o molde e se solidificar, e ainda tratar uma série de dados relevantes para avaliação do processo, seja para prever falhas ou para implantar melhorias no produto, no projeto e no processo. A tecnologia de Simulação Numérica do

Processo de Fundição de Metais (SNPFM) apresenta crescente utilização para otimização de projetos e processos (VERRAN; REBELO e OLIVEIRA, 2000).

Se há alguns anos a simulação de fundição assistida por computador era considerada uma ferramenta pouco importante dentre as prioridades da empresa, atualmente está se tornando imprescindível nas operações de fundição, necessária para alcançar de forma consistente a fabricação de peças com elevada qualidade e rendimento (RAVI, 2010).

Segundo Marques (2008) o uso da tecnologia de SNPFM permite à empresa, analisar, avaliar previamente, criticar os resultados e introduzir modificações. O ciclo se repete até se obter o resultado desejado; isto é: um fundido sem defeitos relevantes, e com bom nível de qualidade. O processo de “tentativa e erro” está sendo substituído pela simulação numérica com o auxílio do computador nas empresas de fundição de metais.

Com a maior internacionalização da economia intensificou-se a necessidade da reorganização dos fatores produtivos e os modos de gestão empresarial com a finalidade de compatibilizar a organização aos padrões internacionais de qualidade e produtividade (OLAVE e AMATO NETO, 2001).

Diferenciais competitivos são atributos que tornam a empresa única ou superior aos seus principais concorrentes. Abrangem as vantagens e benefícios exclusivos que a empresa proporciona à sua clientela e que a concorrência ainda não conseguiu oferecer. Eles agregam valor, porém, só são reconhecidos quando o cliente percebe tais vantagens (PORTER, 2009).

Considerando a alta competitividade não basta ter princípios e estratégias estáticas para uma administração evolutiva, pois eles se tornaram apenas pré-requisitos. É preciso ter estratégia e inovação para continuar a crescer. O foco da empresa deve ser: (a) proporcionar valor aos acionistas; (b) agregar tecnologia aos produtos e serviços; (c) manter o desempenho e qualidade dos produtos e (d) atender à demanda dos clientes.

A competitividade das empresas de fundição pode ser prejudicada, entre outros aspectos: (a) pelo tempo de desenvolvimento de um projeto, fabricação e entrega dos produtos; (b) pelo preço final, associado aos custos de fabricação e (c) a qualidade do produto. Este trabalho explora a gestão da tecnologia de simulação numérica como recurso tecnológico

para as empresas de fundição de metais no Brasil que a utilizam com o objetivo de: (a) redução dos custos de fabricação; (b) menor prazo de fornecimento de peças; (c) garantia da qualidade do produto final; (d) treinamento dos profissionais; (e) satisfação do cliente e (f) ganhos de *marketing share*.

1.1 Justificativa e relevância

A indústria de fundição de metais tem procurado balancear as necessidades técnicas e comerciais, mantendo as capacidades de engenharia, assegurando operações eficientes e protegendo a lucratividade do negócio. A comercialização dos fundidos não mudou em suas raízes, o que está mudando é a forma como é feita. Os requisitos técnicos e a amplitude das responsabilidades impostas às fundições de metais tem se tornado ainda mais exigente.

Isso requer recursos adicionais para a equipe de engenharia e desafia as empresas de fundição a pensar em novas maneiras de diminuir os prazos de entrega, reduzir os custos totais e interagir com os clientes de forma mais eficaz.

Com a rápida evolução das tecnologias computacionais no apoio à tomada de decisão, as empresas têm buscado assegurar a sustentabilidade e crescimento dos negócios, enquanto mantém suas vantagens competitivas.

Os melhores projetos de componentes e processos de fundição são obtidos com interações entre engenheiros de fundição e projetistas, e o uso de novas ferramentas de engenharia tais como: CAD (*Computer Aided Design*) e CAE (*Computer Aided Engineering*). Em vez do processo de tentativa e erro no chão de fábrica, as fundições podem utilizar ferramentas computacionais para o aperfeiçoamento dos projetos e condições de processo.

Para muitas fundições a tecnologia de SNPFM tornou-se uma ferramenta de avaliação do projeto, processo e ferramental, aplicada na melhoria de qualidade e aperfeiçoamento de processos. As ferramentas de simulação consideram o comportamento do material, a composição química, a prática de fusão, a metalurgia, entre outros.

Em muitos países, assim como no Brasil, muitas empresas utilizam a tecnologia de simulação numérica com o objetivo de enfrentar os desafios de um mercado tão competitivo

como tem sido o de fundição, diminuir os custos e aumentar sua lucratividade.

Associar o uso da SNPFM com a competitividade da empresa permite estender o conhecimento da tecnologia de simulação à gestão empresarial. Com o foco de explorar os seus impactos nos resultados da empresa, principalmente em relação aos custos de fabricação, ao tempo de desenvolvimento de produto e à qualidade das peças.

1.2 Objetivo

Estudar como as empresas de fundição de metais no Brasil utilizam a tecnologia de Simulação Numérica do Processo de Fundição de Metais na obtenção de competitividade.

1.3 Questões de pesquisa

- 1 Quais são as principais aplicações da tecnologia de SNPFM no Brasil?
- 2 Como a tecnologia de SNPFM é utilizada pelas empresas brasileiras?
- 3 Como o uso da tecnologia de SNPFM, pode contribuir para a competitividade de uma empresa de fundição de metais?
- 4 Como uma empresa de fundição de metais no Brasil explora o uso da tecnologia de SNPFM como parte de uma estratégia competitiva?

1.4 Delimitação do trabalho

A seguir é descrita a delimitação deste trabalho:

- a) A presente pesquisa empenha-se em caracterizar a aplicação da tecnologia de SNPFM na indústria nacional de fundição.
- c) Os casos de estudo restringem-se às empresas que já utilizam a tecnologia de SNPFM, com o propósito de conhecer os aspectos relevantes que relacionam o uso da tecnologia com a competitividade da empresa.
- c) O conjunto de resultados pode ser útil a outras organizações o que permite o emprego deste estudo como referência, desde que a forma de uso da tecnologia de SNPFM seja adaptada de acordo com as necessidades e a realidade de cada empresa e de sua conjuntura específica, pois as soluções referidas não podem ser tratadas de uma forma comum a todas as empresas.

1.5 Estrutura da dissertação

Com a intenção de responder aos objetivos propostos e contribuir para o desenvolvimento da ciência, o estudo foi dividido em cinco capítulos, que estão estruturados da seguinte forma:

O capítulo um é a introdução ao tema, com uma apresentação mais geral do mercado de fundição, do tema simulação e a competitividade.

O capítulo dois apresenta os assuntos, contextualizando em primeiro lugar os temas: competitividade, vantagem competitiva e estratégia. Descreve posteriormente as principais definições e informações relevantes do processo de fundição de metais e da tecnologia de simulação numérica, com o objetivo de dar embasamento para o estudo.

O Capítulo três tem o objetivo de classificar, retratar o método para realizá-la, definir a população e a amostra, assim como demonstrar como ocorreu a coleta de dados e como estes foram tratados e analisados.

O Capítulo quatro apresenta os resultados obtidos com a survey e com o estudo de casos múltiplos. Neste capítulo são apresentadas as relações e discussões dos dados obtidos em campo com a literatura pesquisada. Estão associados alguns dados de pesquisas internacionais, relatados nos artigos pesquisados, com relação ao uso da tecnologia de simulação numérica nas empresas de fundição de metais.

O Capítulo cinco descreve as considerações finais, as contribuições do trabalho e ideias para a continuidade e o aprofundamento do estudo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo está subdividido em três partes. A primeira parte apresenta as principais definições com referência para os temas centrais da pesquisa: competitividade e vantagem competitiva. A segunda parte trata do tema fundição, com definições importantes do processo, para melhor compreensão do tema. Na terceira parte é feita uma explanação sobre a tecnologia de Simulação Numérica do Processo de Fundição de Metais (SNPFM), iniciando com uma breve descrição do histórico. Explorou-se, com maior ênfase os relatos sobre a aplicação da tecnologia de simulação numérica nas empresas de fundição de metais e a experiência de outros pesquisadores que relataram os resultados obtidos, os quais puderam ser observados nos periódicos nacionais e internacionais pesquisados, e aqui descritos.

2.1 Competitividade e vantagem competitiva

Segundo Nakagawa (1994) a competitividade da empresa caracteriza-se pela capacidade que ela tem de desenvolver e sustentar vantagens competitivas, capacitando-se para enfrentar a concorrência. Haguenuer, Ferraz e Kupfer (1996) definem competitividade como a capacidade da empresa formular e implantar estratégias concorrenciais que lhe permitam ampliar ou conservar, de forma duradoura, uma posição sustentável no mercado. Com a globalização, a competição torna-se mais intensa, conforme Franco (1999), obrigando a empresa ser mais inovadora e criativa, para se manter competitiva.

No estudo da competitividade é importante observar a eficácia operacional, descrito por Porter (2009) como sendo o desempenho de atividades melhor que os rivais. O autor destaca dois exemplos: (a) redução de defeitos ou o desenvolvimento de melhores produtos com maior rapidez e (b) uso mais consciente e racional dos insumos. Para dificultar a imitação por parte dos concorrentes, é importante que a empresa defina uma combinação de atividades entrelaçadas, chamada por Porter (2009) de “compatibilidade”, dando origem à vantagem competitiva e à rentabilidade superior.

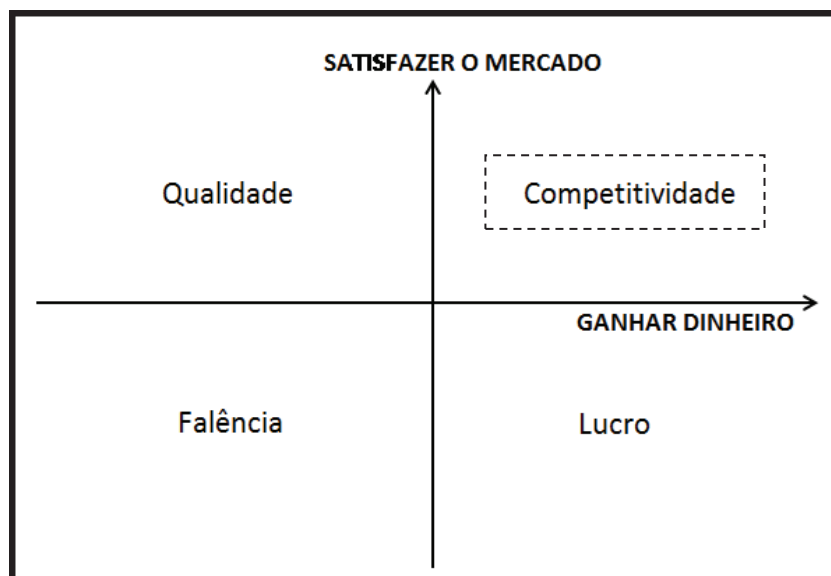
Porter (1989) descreve dois tipos de vantagem competitiva: baixo custo e diferenciação. Quando combinados, resultam em três estratégias genéricas para alcançar o desempenho superior: liderança de custo, diferenciação e enfoque. Para Motta (1995), uma vantagem competitiva nasce a partir do valor que a empresa cria para seus clientes, materializada em menores preços para bens equivalentes ou oferta de bens exclusivos.

Maramaldo (2000) define competitividade como sendo a melhor combinação possível entre satisfazer o mercado no qual a empresa atua e ganhar dinheiro. Na opinião do autor são metas conflitantes, e atendê-las, passa a ser o desafio. Porter (2004) retoma os próprios estudos publicados no ano de 1989, sobre vantagem competitiva, e reforça os conceitos pelos quais uma empresa pode se diferenciar no mercado, e ser mais competitiva: (a) redução de custos e (b) diferenciação. O autor acrescenta ainda que apesar de ser impossível ter mais de uma empresa com liderança em custo, é perfeitamente concebível que várias empresas obtenham sucesso com adoção de estratégia voltada para a diferenciação.

Para visualizar o nível de competitividade de uma empresa, Maramaldo (2000) destaca que é essencial um comparativo com seus principais concorrentes. Para realização desse comparativo são necessários dois indicadores: (a) satisfação de mercado, que define a expansão da empresa em relação a seus concorrentes e (b) o crescimento no faturamento nos últimos cinco anos. Na opinião do autor, ao satisfazer os clientes, obter os níveis de faturamento e lucro desejáveis, é possível identificar a empresa como competitiva.

O modelo da dinâmica da competitividade, apresentado por Maramaldo (2000), indica que a busca da vantagem competitiva pode resultar em quatro possibilidades diferentes que estão divididas pelo autor em quadrantes. São eles: qualidade, competitividade, falência e lucro; conforme ilustra na Figura 01.

Figura 01: O modelo da dinâmica da competitividade



Fonte: Adaptado de Maramaldo (2000).

O quadrante da falência é representado pelas organizações que não satisfazem o mercado e nem ganham dinheiro, isto é, não sobreviverão às exigências competitivas. Já empresas que procuram atender os requisitos dos clientes e conseqüentemente estão satisfazendo o mercado, podem sair da situação do quadrante anterior, e ainda não serem lucrativas, mas estarão caminhando nesta direção, migrando para o quadrante da qualidade. Outra situação é das empresas com um lucro considerado ideal para a operação, mas que sem satisfazer o mercado, pode não se manter na operação por muito tempo, pelo baixo nível, de competitividade. Este quadrante, segundo Maramaldo (2000), é arriscado, pois caso haja perda de clientes, o impacto será direto no caixa positivo da empresa.

Ainda para Maramaldo (2000), o quadrante mais satisfatório é o da competitividade, em que as duas metas, apesar de conflitantes, são atendidas, proporcionando a condição desejada. Da mesma forma Meneghetti (2002) enfatiza que para a empresa obter e se manter competitiva em relação à concorrência, deve estar atenta ao mercado e às opções a serem praticadas no futuro, sendo necessária especial atenção: (a) aos investimentos; (b) aos custos; (c) às novas tecnologias e (e) ao pioneirismo em processos, procedimentos e produtos.

Da mesma forma que Meneghetti (2002) menciona a questão da relação com o mercado, os autores Hitt, Ireland e Hoskisson (2003), enfatizam que para alcançar a competitividade e auferir retornos superiores à média, uma empresa deve: (a) analisar o seu ambiente externo; (b) identificar as oportunidades existentes; (c) determinar quais recursos e capacidades internas são competências essenciais e (d) selecionar a estratégia mais adequada para que seja implantada. Para Brito e Brito (2012) os recursos e competências da empresa podem desempenhar um papel chave na geração de valor, permitindo com que a empresa apresente uma vantagem competitiva frente aos seus concorrentes.

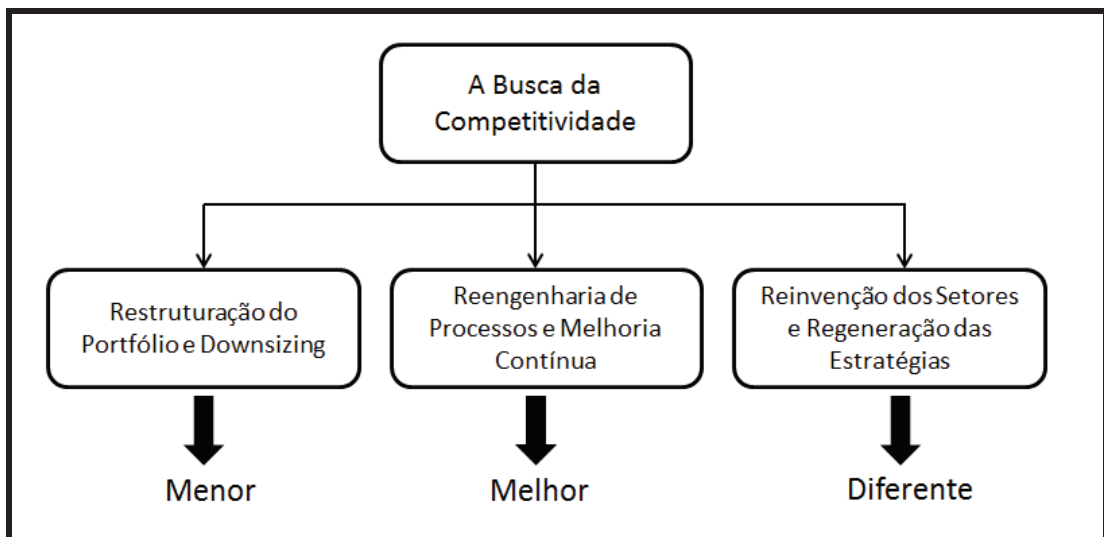
Prahalad e Hamel (2005) destacam três aspectos relevantes como uma alternativa para a recuperação da competitividade. São elas: (a) *empowerment*, que é redesenho de processos e racionalização de portfólio; (b) *downsizing*, uma redução de despesas administrativas e (c) a reengenharia de processos e melhoria contínua, erradicando o trabalho desnecessário, apontando os processos para a satisfação do cliente, redução do tempo do ciclo e para a qualidade total. A Figura 02 ilustra os três aspectos em destaque na busca da competitividade.

O que recomenda Prahalad e Hamel (2005) faz com que as empresas alcancem os

concorrentes e não os superem, o que se assemelha ao conceito de Maramaldo (2000) na análise dos quadrantes, para o aspecto da qualidade, justamente o ponto onde a empresa satisfaz o mercado, porém ainda não é lucrativa. Emparelhar-se aos concorrentes é necessário, porém não levará nenhuma organização à liderança de mercado, conforme destaca Prahalad e Hamel (2005). Ocupar uma posição de liderança hoje, não significa que a empresa ocupará amanhã; a liderança e a competitividade precisam ser continuamente reinventadas.

A qualidade, embora não seja por si só uma vantagem competitiva, caso esteja somada à receptividade dos clientes e ao menor tempo de lançamento de produto, fazem parte da lista dos diferenciais competitivos segundo Prahalad e Hamel (2005).

Figura 02: A busca da competitividade

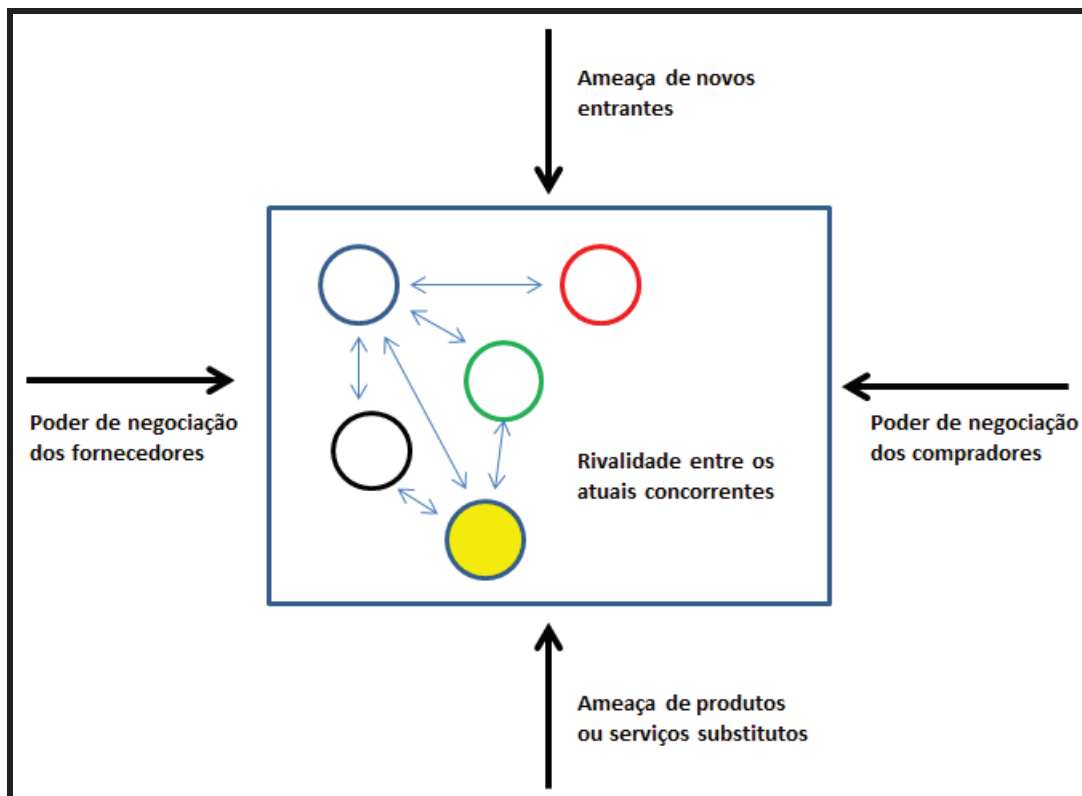


Fonte: Prahalad e Hamel (2005, p. 18).

Segundo Oliveira, Gonçalves e de Paula (2013) em ambientes competitivos caracterizados como incertos e turbulentos, fatores como flexibilidade estrutural, inovação contínua, rapidez e eficácia decisórias podem ser determinantes para que as organizações sobrevivam e prosperem em seus respectivos setores ao longo do tempo. A preocupação com o planejamento das ações futuras da empresa é descrito por Prahalad e Hamel (2005) nos quatro pontos que seguem, os quais podem auxiliar os profissionais no planejamento, levando em consideração Oliveira, Gonçalves e de Paula (2012) no que se refere aos ambientes competitivos incertos: (a) que clientes a empresa servirá no futuro; (b) quais serão seus concorrentes no futuro; (c) qual será a base da sua vantagem competitiva no futuro e (d) que habilidades ou capacidades farão da sua empresa uma empresa única no futuro.

Para Porter (2009) competir está na essência do negócio, pois a concorrência na indústria, seja qual for, é uma constante. E concorrer não somente com outras empresas do mesmo ramo, mas também disputar espaço no mercado com potenciais entrantes, substitutos, fornecedores e clientes. Uma disputa sistêmica, contra todos e contra si mesmo. Assim, apresenta-se o mercado contemporâneo, uma arena de contendidas onde ter um diferencial competitivo, que lhe traga vantagem competitiva, é a busca incessante necessária. Competir é a causa e a consequência para a existência das empresas. Quanto aos fatores estruturais relacionados à competitividade o autor indica ainda as cinco forças, que segundo ele, determinam a dinâmica da competição em uma indústria: (1) a ameaça de novos entrantes; (2) a ameaça de substitutos, (3) o poder de negociação dos clientes; (4) o poder de negociação dos fornecedores e (5) a rivalidade entre os concorrentes atuais. A Figura 03 ilustra um esquema representativo das cinco forças de Porter.

Figura 03: As cinco forças competitivas



Fonte: Adaptado de Porter (2009).

Uma análise do mercado de fundição de metais no Brasil, a partir das cinco forças de Porter (2009), permite destacar alguns pontos relevantes: (1) o elevado poder de negociação dos compradores, sobretudo no mercado automobilístico; (2) a ameaça de produtos substitutos

em alguns segmentos de mercado, por outros processos de fabricação, tais como forjaria, metalurgia do pó ou polímeros; (3) em relação ao poder de negociação dos fornecedores, destaca-se o mesmo relacionado aos itens essenciais, como: matéria-prima, energia elétrica e insumos de produção em geral; (4) em relação à ameaça de novos entrantes, o destaque é para a intensa competição internacional que a maior parte das médias e grandes fundições de metais no Brasil sofre e (5) na rivalidade entre os concorrentes atuais destaca-se a forte competição por preço e o tempo de entrega do produto final.

A partir dos estudos de Porter (1989), em relação às três estratégias genéricas para criação de uma posição sustentável no longo prazo, observa-se que para o mercado de fundição de metais no Brasil, o que mais se enquadra é a estratégia competitiva de baixo custo, que tem no preço um dos principais atrativos para o cliente, e na qual a empresa centra seus esforços na busca de eficiência produtiva, na ampliação do volume de produção e na minimização de gastos com propaganda, assistência técnica, distribuição, pesquisa e desenvolvimento.

Porter (2009) observou que algumas empresas são capazes de obter maior aproveitamento dos insumos do que outras, pois: (a) eliminam o desperdício de esforços; (b) adotam tecnologias mais avançadas; (c) motivam melhor seus funcionários e (d) conseguem ouvir aconselhamentos por parte do grupo para melhoria de determinada atividade ou conjunto das mesmas. Veronese (2014) enfatiza a exigência às organizações, para uma atenção especial na melhoria contínua dos seus processos. A adoção de tais práticas indica, segundo os autores, que a empresa consiga reduzir seus custos e estabelecer níveis de diferenciação, melhorando a sua competitividade e gerando valor aos seus clientes.

Uma vantagem competitiva sustentável permite à empresa atrair um número suficientemente grande de compradores que tenham preferência por seus bens ou serviços em relação àqueles oferecidos por seus concorrentes (GAMBLE e THOMPSON JR., 2012). Os autores enfatizam as abordagens mais confiáveis e usadas pelas empresas para se destacar e obter vantagem competitiva sustentável, são elas: (a) desenvolver vantagem baseada no custo; (b) criar uma vantagem baseada no diferencial; (c) concentrar-se em um nicho de mercado do setor e (d) desenvolver recursos e competência competitiva que não possam ser alcançados, imitados ou superados pelos concorrentes; já visto em Porter (1989), classificado pelo autor como estratégias genéricas para alcançar o desempenho superior.

Brito e Brito (2012) descrevem que, embora haja convergência, a definição de vantagem competitiva ainda possui desafios importantes. Os autores enfatizam três pontos, segundo eles, relevantes: (a) delimitar o que é valor criado; (b) estabelecer o referencial contra o qual se determina a vantagem e (c) definir a dimensão do tempo do conceito.

Drnevich, Madsen e Newbert (2010) questionam: como é possível retratar, modelar e medir a vantagem competitiva? Com enfoque semelhante, há ainda um questionamento feito por Brito e Brito (2012): seria a vantagem competitiva um estado momentâneo, ou se refere a um intervalo de tempo? A propósito destas questões, a análise da obtenção da vantagem competitiva deve ser avaliada, sob diversas influências.

As competências essenciais, descrito por Prahalad e Hamel (1990) como sendo, o aprendizado coletivo na organização, especialmente associado à coordenação das diversas habilidades de produção, cumprem, segundo Akabane (2012) três critérios fundamentais: (a) dificuldade dos concorrentes imitarem; (b) podem se alavancadas a muitos produtos e mercados e (c) devem contribuir para benefício do cliente final. A competência essencial não diminui com o uso, ao contrário dos ativos físicos, que se deterioram ao longo do tempo, as competências são reforçadas conforme são aplicadas e compartilhadas, afirma o autor.

Além de se manifestar em lucratividade, a vantagem competitiva, segundo Harrison, Bosse e Phillips (2010), pode afetar a participação de mercado e o desempenho operacional da empresa, em diferentes momentos e situações. O estudo da vantagem competitiva pela observação de medidas de desempenho deve ser norteado pela lógica entre criação de valor, que para Brandenburger e Stuart (1996) é a diferença entre o custo de oportunidade do fornecedor e a disposição a pagar pelo cliente, e desempenho em cada contexto. Lindgreen e Wynstra (2005) descrevem como sendo subjetiva a disposição do cliente em pagar, pois antes ele deverá perceber os benefícios oferecidos. Somente é valorado aquilo que é percebido.

Segundo Coff (2010) os efeitos da vantagem competitiva sobre o desempenho organizacional dependerão de aspectos e decisões da gestão estratégica, contemplando momentos de criação e outros de monetização do valor criado, da mesma forma que enfatizado por Porter (2009) uma empresa só é capaz de superar em desempenho os concorrentes se conseguir estabelecer uma diferença preservável. Ela necessita gerar maior valor aos clientes ou valor compatível a um custo mais baixo, ou até mesmo ambos.

A diferença no desempenho entre empresas é resultado das diferentes bases de seus conhecimentos e capacidades ao desenvolver e desdobrar o conhecimento (JOÃO e FISCHMANN, 2004). Segundo Santos Netto, Santos e Kunyoshi (2012) algumas empresas já adotam a gestão do conhecimento como forma de responder às demandas do ambiente externo, bem como, gerir os recursos internos para se tornar mais eficiente.

Massuqueto e Freitas (2014) descrevem que a busca pelo diferencial competitivo está associada à atitude organizacional e à administração das atividades executadas pelas empresas. Segundo Prahalad e Hamel (2005) as empresas descobrem soluções novas porque estão dispostas a enxergar muito além das soluções antigas.

2.2 Algumas definições de gastos, custos e despesas

O gasto é representado como a compra de um produto ou serviço qualquer, que gera sacrifício financeiro para a entidade (desembolso), sacrifício esse representado por entrega ou promessa de entrega de ativos, normalmente dinheiro (MARTINS, 2008).

Conforme Martins (2008), despesas são todos os bens ou serviços consumidos direta ou indiretamente para a obtenção de receitas. Todos os custos foram ou são gastos que se transformam em despesas, a partir do momento da entrega do bem ou serviço. Muitos dos gastos são automaticamente transformados em despesas, alguns passam primeiro pela fase de custos e outros passam por investimentos, custos e depois se tornam despesas.

Segundo Martins (2008), custo é o gasto relativo a bens ou serviços utilizados na produção de outros bens ou serviços. O custo é um gasto reconhecido como custo no momento da utilização dos fatores da produção, para a fabricação de um produto ou execução de um serviço. Para Leone e Leone (2004) os custos estimados, com base em uma unidade operacional, podem ser descritos como previstos ou orçados, necessários para a produção de um produto ou para a realização de um serviço.

Segundo Leone e Leone (2004), os custos de fabricação são os recursos de produção, caracterizados monetariamente, utilizados na fabricação em determinados períodos ou relativos à determinada obra ou serviço. Na prática, é a soma dos débitos feitos num período à

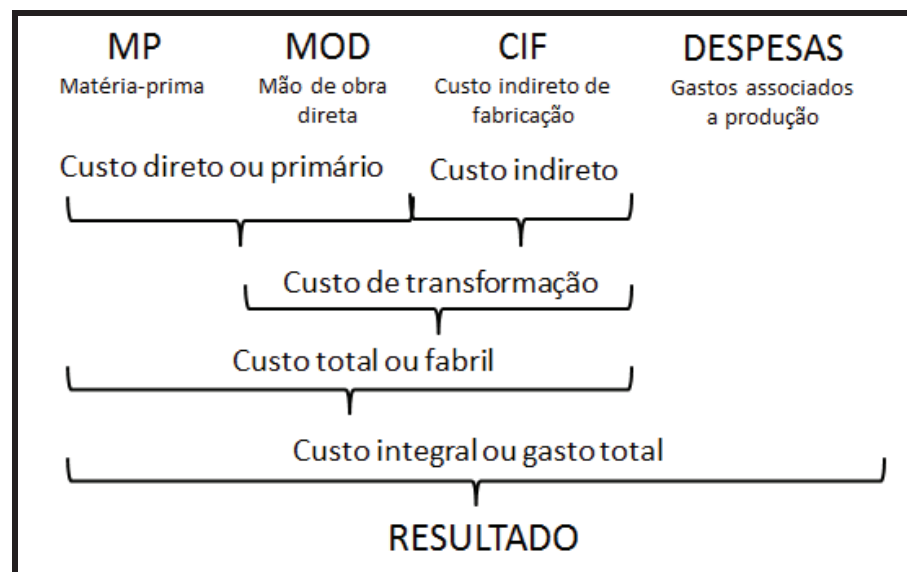
conta de produção em processo, ou seja, dos materiais diretos, da mão de obra direta e dos custos indiretos de fabricação.

Os custos estão divididos entre fixos e variáveis. Conforme descrito por Leone e Leone (2004), custos fixos são aqueles que não se alteram diante de uma variável tomada como referência. Para as empresas, os custos fixos normalmente se referem aos gastos com a estrutura e com as instalações. Eles são repetitivos e inevitáveis, não se modificam dentro de uma faixa efetiva de volume relacionada à unidade de medida de uma atividade. Como por exemplo, os custos que não variam com o volume de produção: aluguéis, impostos de propriedade, seguros, salários administrativos, entre outros.

Segundo Leone e Leone (2004), custos variáveis são aqueles que mudam segundo a variação de uma medida tomada como referência. Ou seja, são os custos que, no total, variam de acordo com a unidade de medida tomada como variável operacional independente, que é a variável que determina os valores do item de custos variáveis. Estes custos variam diretamente com o número de unidades produzidas.

A estrutura de custos que envolvem os elementos da indústria de manufatura pode ser visualizada na Figura 04, que desdobra os tipos de custos envolvidos com matéria-prima, mão de obra, custos indiretos de fabricação e despesas.

Figura 04: Elementos de custo



Fonte: Adaptado de Martins (2008).

2.3 Manufatura enxuta

Os conceitos de produção enxuta surgiram por volta da década de 50, tendo sua origem na indústria automobilística quando Taiichi Ohno e Shingeo Shingo começaram a pensar em novas formas de gerenciar a produção da indústria automobilística, mais precisamente, na Toyota Motor Company, destacando-se pelos ganhos de seu processo enxuto, que ficou conhecido como Sistema Toyota de Produção (STP). Essa iniciativa trouxe à tona ideias simples e inovadoras, que auxiliaram na redução de perdas e melhoria de resultados, baseadas em um objetivo em comum: aumentar a eficiência da produção pela eliminação consistente e completa de desperdícios (ROLIM, 2012).

De acordo com Murli (2012), todo negócio bem sucedido segue uma abordagem *lean* na gestão. Para Dennis (2008), a produção *lean*, também conhecida como o STP (Sistema Toyota de Produção), representa fazer mais com menos – menos tempo, menos espaço, menos esforço humano, menos maquinaria, menos material – e, ao mesmo tempo, dar aos clientes o que eles querem. Ballestero-Alvarez (2012) descreve que, apesar de o principal objetivo da produção enxuta ser a redução de custos, ela proporciona condições para aumentar o giro de capital (receitas/despesas) e melhorar a produtividade da empresa.

Outro princípio fundamental para o entendimento do STP é o da função produção, que conforme Shingo (1996) é um mecanismo que se caracteriza por ser uma rede de processos e operações diversas. O processo é visto como o fluxo dos materiais dentro de um tempo e espaço definidos, cumprindo o caminho da matéria-prima até o produto final, sendo este denominado como fluxo de valor.

O Pensamento Enxuto é uma forma de especificação de valor onde é realizada a compreensão do funcionamento de todo o processo e em seguida são definidos os seguintes itens: (a) definição da melhor sequência para a realização das atividades e (b) execução das tarefas de uma única vez e sem interrupções (WOMACK e JONES, 2004). Ainda para os mesmos autores, a ideia da realização de um determinado trabalho com o mínimo de desperdício e o máximo de eficiência é uma ideia enxuta.

A principal característica do pensamento enxuto é localizar e especificar o que é de fato valor percebido pelo cliente (COSTA e JARDIM, 2010). Mapear o fluxo de valor e

identificar o desperdício refere-se ao entendimento de todas as etapas e passos necessários para que o processo gere o valor esperado pelo cliente (WOMACK e JONES, 2004). Para Porter (2009), a produção enxuta permite melhorias substanciais na produtividade fabril e na utilização dos ativos. O autor ressalta a necessidade da preocupação dos gestores com a melhoria na eficácia operacional, por meio de programas como: gestão da qualidade total e competição baseada no tempo; de modo a eliminar as ineficiências, aumentar a satisfação dos clientes e atingir as melhores práticas.

2.4 O processo de fundição de metais

O processo de fundição de metais é conhecido desde a pré-história, embora não haja um consenso entre os autores. Neste período já eram produzidos objetos em cobre fundido por meio de moldes em pedra lascada (ROSSITTI, 1993).

Durante a segunda guerra mundial, foi realizado o controle da morfologia da grafita, que possibilitou a descoberta do ferro dúctil, a qual proporcionou avanços significativos na ciência e na produção dos fundidos de ferro. A família dos ferros fundidos usados nas aplicações de engenharia data da metade do último século (LOPER, 2003).

No Brasil, a primeira casa de fundição surgiu por volta de 1580, em São Paulo, e era destinada à fundição do ouro extraído das minas do Jaraguá e arredores. No decorrer do século XVIII, muitas casas de fundição foram criadas. A demanda por ferrovias e portos fomentou, por muito tempo, o desempenho das fundições, de modo que os pátios de reparo das companhias ferroviárias e os estaleiros passaram a ter as mais bem equipadas oficinas metalúrgicas do país (BETHELL, 2002).

Diversas inovações no método produtivo foram implantadas, bem como descobertas de novas ligas metálicas, são exemplos: o processo da decarbonetização dos ferros fundidos brancos, ocorrido em 1722 e a fundição em aço, em 1740 (RIBEIRO, 2008).

Com a chegada da indústria automotiva e a construção de Brasília, o setor de fundição ganhou força. Passou a cumprir um importante papel no desenvolvimento da indústria nacional. Uma definição mais técnica e atual para fundição pode ser: a preparação, fusão e refino de insumos metálicos, seu vazamento em moldes (a definir o processo) e na limpeza e

acabamento das peças brutas assim obtidas (MONTECELLI, 1994).

A Fundição de metais é o processo de fabricação de peças que representa o menor caminho entre a matéria-prima metálica e as peças acabadas, prontas para serem utilizadas. Nota-se que o processo de fundição em si é complexo pelo número de variáveis que possui, entre elas: matéria-prima, molde, forno, mão de obra, liga, insumos, entre outros. Destaca-se, porém, que o processo de fundição possui em sua essência, particularidades que o faz um processo completo e ágil do ponto de vista da entrega do produto final (BRAGA, 1992).

Para o processo de fundição não há concorrente direto, pois, em muitos casos, é o método mais simples e econômico; e às vezes o único método tecnicamente viável de se obter uma peça, o que pode ser exemplificado com os blocos de motores que, devido a sua forma complexa, somente podem ser obtidos com um metal com alta fluidez no estado líquido, ou seja, por meio da fundição (KONDIC, 1973).

A indústria de fundição é confrontada com desafios, tais como: disponibilidade e qualificação da mão de obra, recursos materiais e custos de fabricação. Ainda a indústria de fundição deve se atender às demandas técnicas relacionadas com a qualidade do produto, documentação e tempo de entrega (BONOLLO e ODORIZZI, 2001).

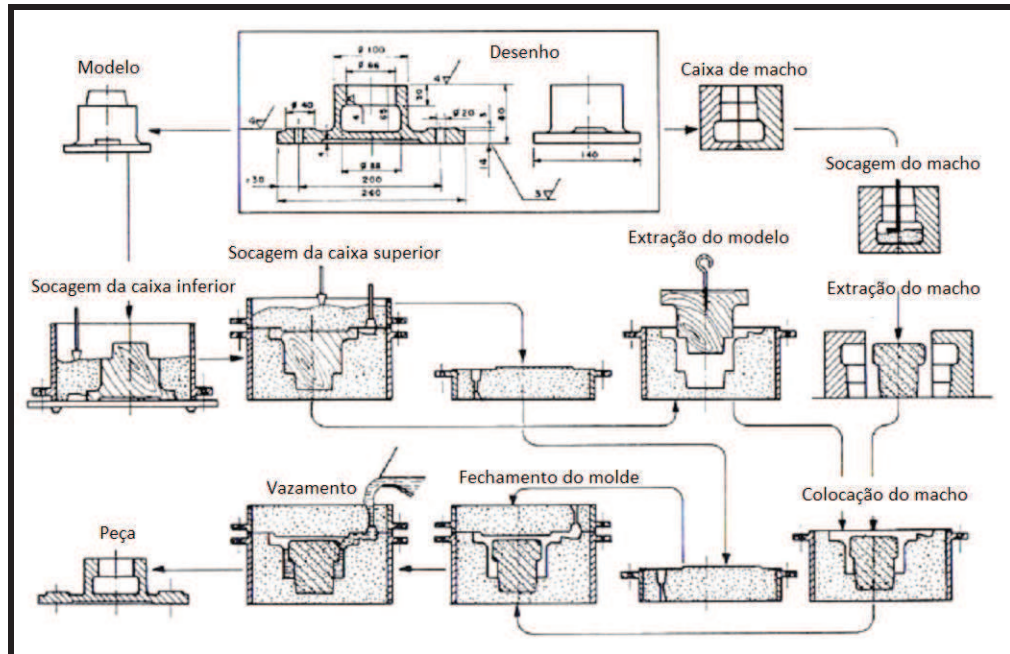
No processo de fundição de metais, o molde é essencialmente importante. Utiliza-se na fabricação do molde para o processo de fundição por gravidade em areia, por exemplo, uma réplica da peça – geralmente fabricada em madeira, resina ou isopor; também chamada de modelo de fundição. Para reproduzir as cavidades ou detalhes internos das peças, são utilizados machos fabricados em areia especial (LIMA, 2004).

Ainda para Lima (2004) após a confecção do molde e a extração do modelo, o macho é colocado no interior do molde e não permite o preenchimento daquele espaço pelo metal. Posteriormente, após o preenchimento da cavidade do molde com a liga metálica líquida e a completa solidificação do material, a areia do molde é retirada, assim como do macho, no interior da peça, obtendo-se o detalhe ou região vazia, que se deseja.

Para ilustrar e com o objetivo de um melhor entendimento da sequência de preparação do molde para fundição de uma peça pelo processo de gravidade, segue a Figura 05 que

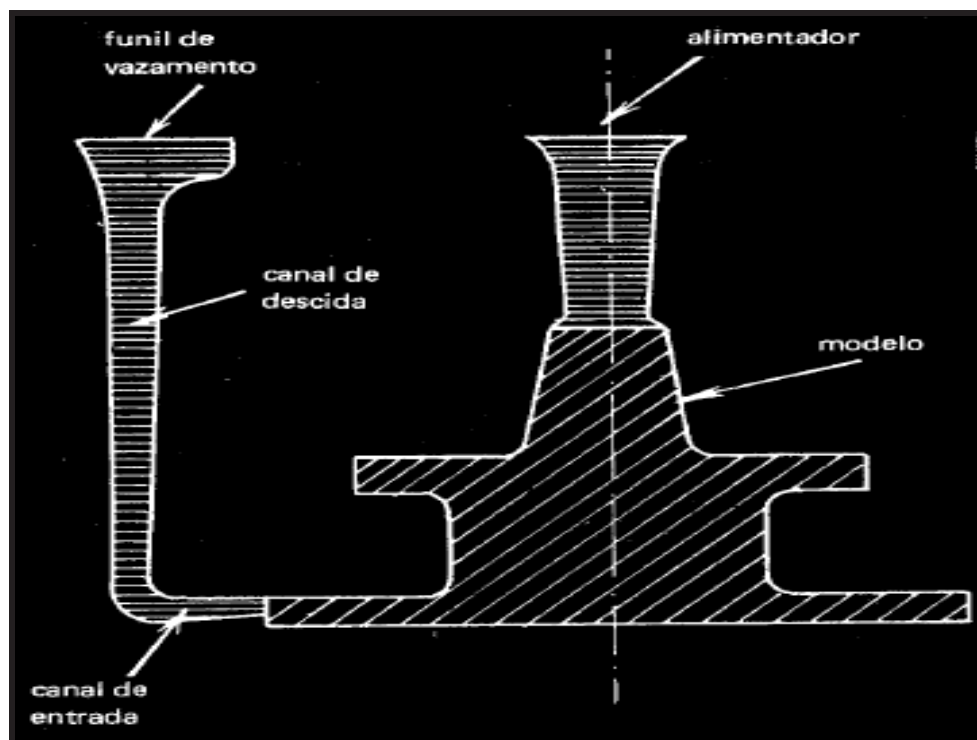
ilustra desde a etapa do modelo até a peça final, em um exemplo de molde de areia. A Figura 06 ilustra as partes básicas de um projeto de fundição.

Figura 05: Sequência de preparação de um molde em areia



Fonte: Biolo (2005, p. 8).

Figura 06: Esquema simplificado de canais para fundição por gravidade



Fonte: Chiaverini (1986, p. 17).

Para a fabricação do metal líquido é necessário um sistema de fusão, com fornos capazes de transformar o material sólido em líquido. Após esta etapa, para que o metal líquido seja vertido em uma cavidade, é necessário o projeto de canais, os quais são cuidadosamente dimensionados. A Figura 06 ilustra o sistema de canais e massalotes, para gravidade.

O processo simplificado pode ser descrito da seguinte forma: o metal líquido é vertido no funil do vazamento, escoado para o canal de descida e penetra na peça (modelo) pelo canal de entrada.

O uso de massalote (alimentador) é necessário para compensar a contração volumétrica que ocorre durante a solidificação, porém sua presença significa diminuição no rendimento metálico, que é a relação entre o peso líquido, somente a peça, e o peso total do fundido, somados os canais e alimentador (ALVES, 2009).

Para Lima (2004) e Biolo (2005), a matéria-prima para a produção de peças fundidas é constituída pelas ligas metálicas ferrosas (de ferro e carbono com ou sem elementos químicos) e não ferrosas (de cobre, alumínio, zinco, magnésio, entre outros). O processo de fabricação de peças por meio de fundição por gravidade pode ser resumido nas seguintes operações:

- Confeção do modelo: consiste em construir um modelo com o formato da peça a ser fundida. Esse modelo servirá para a construção do molde e suas dimensões devem prever a contração do metal quando ele se solidificar bem como um sobremetal para posterior usinagem da peça. Ele normalmente é confeccionado em madeira, alumínio ou resina.

- Projeto dos sistemas de canais e massalotes: esta é a etapa do projeto para dimensionamento do canal de alimentação, que são as vias, ou condutos, por onde o metal líquido passa até chegar ao molde e do massalote, reserva de metal posicionado nas regiões de maior massa da peça, que preenche os espaços que se formam à medida que a peça se solidifica e contrai. Em paralelo à confeção do modelo, é efetuado o cálculo e o dimensionamento dos canais e massalotes. Esta etapa é importante para a qualidade da peça.

- Confeção do molde: o molde é o dispositivo no qual o metal fundido é colocado para que se obtenha a peça desejada. Ele é feito de material refratário composto de areia e aglomerante. Esse material é moldado sobre o modelo que, depois de retirado, deixa uma

cavidade com o formato da peça a ser fundida. A Figura 6 ilustra a sequência de operação na fundição de um metal em molde de areia.

- **Confecção dos machos:** é um dispositivo, feito também de areia, que tem a finalidade de formar os vazios, furos e reentrâncias da peça. Eles são colocados nos moldes antes que eles sejam fechados para receber o metal líquido.

- **Fusão / Vazamento:** é a etapa em que acontece a fusão do metal no forno, elaboração da liga e posterior preenchimento do molde com metal líquido.

- **Desmoldagem:** é realizado após determinado período de tempo, quando ocorre a solidificação do metal. Depende da geometria de peça, do tipo de molde, da liga metálica e das condições de resfriamento.

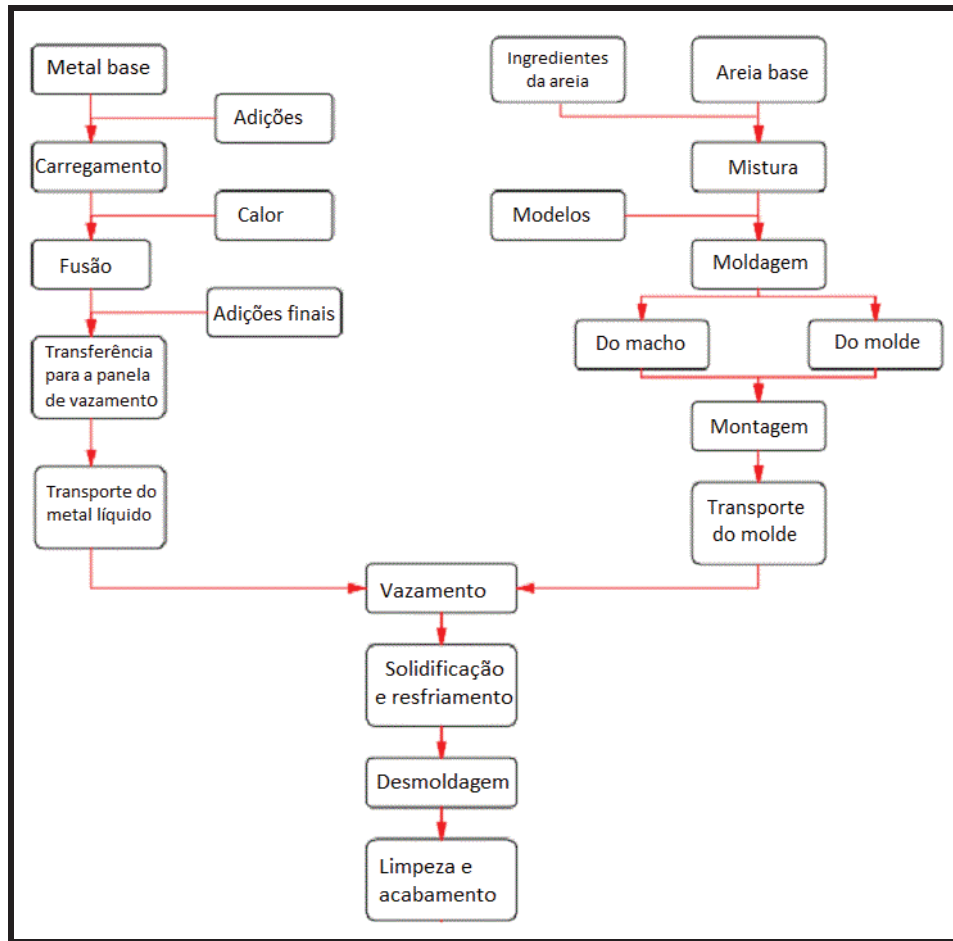
- **Rebarbação e Limpeza:** retirada dos canais de alimentação, massalotes e rebarbas que se formam durante a fundição, realizada quando a peça atinge a temperatura ambiente e eliminação de incrustações superficiais da areia usada, feita por meio de jatos abrasivos.

Se a fundição é uma atividade tão antiga, a ponto de permitir o registro histórico por meio do achado de objetos fundidos, atualmente, a fundição moderna é uma indústria especializada no processo de fabricação de peças para diversos ramos, cuja organização, métodos e tecnologia pouco se assemelham às antigas (BRAGA, 1992).

Dentre os processos de fabricação, a fundição se destaca por permitir a produção de peças com grande variedade de formas e tamanhos. A produção de peças fundidas pode ser: (a) unitária, como por exemplo, no caso de grandes peças para determinada aplicação ou reposição e (b) seriada, voltada principalmente para as indústrias que demandam de alto volume, por exemplo, a automotiva. Toda essa variedade é obtida não com um único processo e sim escolhendo o que melhor se adapta às exigências do cliente e produz o lote encomendado com o mínimo custo dentro do prazo estipulado (SOARES, 2000).

O exemplo de fluxograma do processo de fundição de metais em molde de areia está representado na Figura 07.

Figura 07: Sequência das operações na fundição de um metal em molde de areia

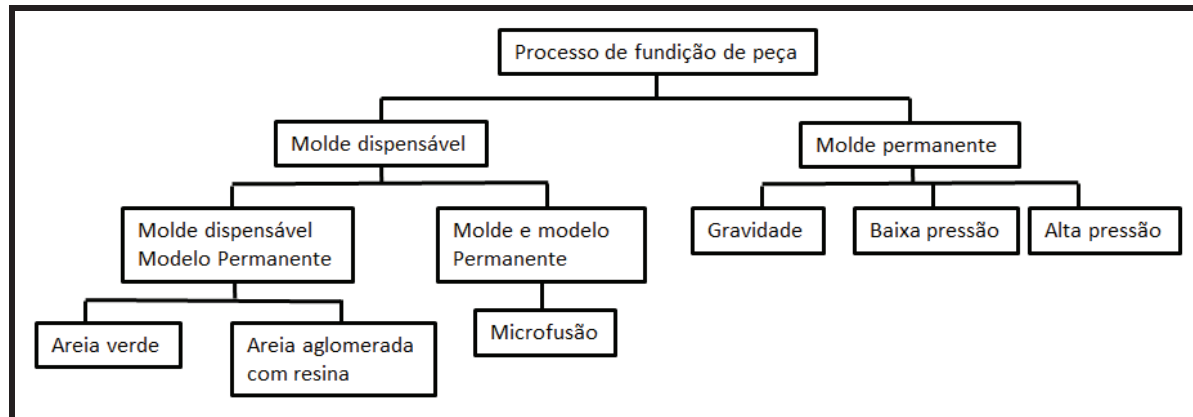


Fonte: Adaptado de Biolo (2005).

Dentre os processos de fabricação, a fundição se destaca por permitir a produção de peças com grande variedade de formas e tamanhos. A produção de peças fundidas pode ser: (a) unitária, como por exemplo, no caso de grandes peças para determinada aplicação ou reposição e (b) seriada, voltada principalmente para as indústrias que demandam de alto volume, por exemplo, a automotiva. Toda essa variedade é obtida não com um único processo e sim escolhendo o que melhor se adapta às exigências do cliente e produz o lote encomendado com o mínimo custo dentro do prazo estipulado (SOARES, 2000).

Conforme Rossitti (1993), os principais processos de fundição de metais, em moldes de areia são: (a) fundição em areia sintética também chamada areia verde ou areia preta; (b) fundição em areia cura-frio; (c) fundição em areia Shell; (d) fundição em cerâmica; (e) fundição em cera perdida. A Figura 08 destaca, além dos processos descritos por Rossitti (1993), outros que não haviam sido mencionados pelo autor.

Figura 08: Classificação dos processos de fundição de peças.



Fonte: Adaptado de Setti (2010).

A fundição desempenha um papel importante, uma vez que permite obter peças com formatos complexos, muitas vezes necessitam um mínimo de usinagem para atingir sua forma final para utilização. Em função da sua importância, pesquisas são feitas com o objetivo de aumentar a confiabilidade dos produtos obtidos por esse processo (KOLOSOSKY, 2001).

Para Lima (2004) peças fundidas estão presentes em quase todas as atividades humanas, porém, em termos de mercado, dificilmente um consumidor – pessoa física – compra uma peça fundida bruta, exceto obras de arte ou peças ornamentais, pois, frequentemente, a peça fundida é parte integrante de um objeto, equipamento, ou maquinário comprado ou usado por um consumidor industrial.

A escolha pelo processo adequado dependerá da característica da peça e demanda por qualidade. A tecnologia disponível no mercado de fundição de metais agrega conhecimento e valor para que os técnicos e engenheiros responsáveis pelo desenvolvimento de projetos e processos, cada vez mais exigentes, sejam elaborados com precisão. Destacam-se as seguintes tecnologias: modelamento CAD, prototipagem, digitalização para obtenção no computador do desenho em três dimensões do produto e a tecnologia de SNPFM.

Um dos desafios para as empresas de fundição de metais é a gestão como um diferencial de sucesso. Conhecer e aplicar adequadamente as ferramentas econômicas e financeiras a partir das informações do negócio tornou-se fundamental para a estratégia competitiva; bem como gerir os custos de produção das peças por meio de informações e medições, para vender a preços competitivos (MORAES et al., 2007).

2.4.1 Exemplo de defeito decorrente do processo de fundição

Defeitos de fundição são descontinuidades encontradas nas peças fundidas que não estão de acordo com os requisitos dos clientes, no que diz respeito à: (a) geometria, por exemplo, desencontros, ondulações ou defeitos dimensionais; (b) integridade: porosidade, trinca, óxidos e inclusões e (c) propriedades do material, tais como, dureza e resistência mecânica abaixo do especificado por norma (RAVI, 2011).

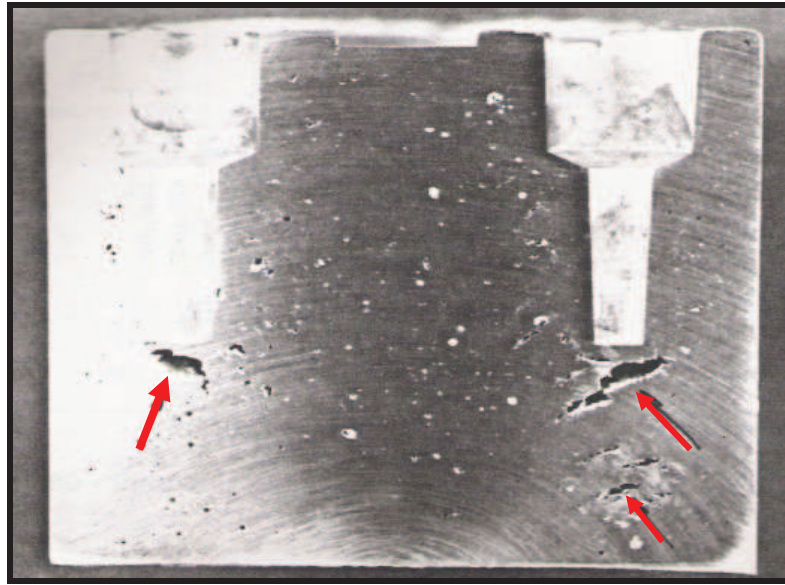
Segundo Ravi (2011) os problemas associados à baixa produtividade na fundição e à perda de confiança por parte do cliente são críticos. Na maioria das vezes foram causados pelos defeitos gerados no processo produtivo. As perdas de peças por defeitos causados na produção são da ordem de 3 a 6% para empresas que fornecem peças seriadas e de 8 a 15%, para as empresas que produzem peças por encomenda.

Ainda para o mesmo autor, as empresas de fundição tentam reduzir as rejeições por meio da experimentação de parâmetros do processo (como a composição da liga, molde revestimento e temperatura de vazamento). Quando estas medidas não são eficazes, os projetos são alterados (sistema de canais e massalotes). Se não for ainda suficiente para a correção dos problemas o próximo passo é a alteração do modelo ou ferramental de fundição, quando for possível. Caso a alteração não seja viável, um novo ferramental é construído.

Para Marques (2008) e para Stuewe e Ubeda (2013) um dos defeitos mais comuns do processo de fundição de metais é o rechupe que se manifesta como vazio de aspecto irregular que se formam durante a solidificação e surge nos pontos quentes dos fundidos, ou seja, nas zonas mais maciças cujo tempo de solidificação é maior. Esse tipo de defeitos pode ser controlado pela utilização de um sistema de alimentação e canais adequados, refrigeração, retirada de massa, entre outros, dependendo do processo de fabricação da peça fundida. A análise da geometria e a simulação numérica, por exemplo, permitem determinar quais os pontos quentes de um fundido e planejar um novo projeto, mais dequado, para a eliminação total ou a redução dos defeitos de fundição na peça final.

Figura 09 ilustra alguns rechupes para uma peça fabricada pelo processo de fundição em molde permanente por alta pressão, em uma liga de alumínio, indicados pelas setas.

Figura 09: Exemplo de rechupe em peça de alumínio injetado

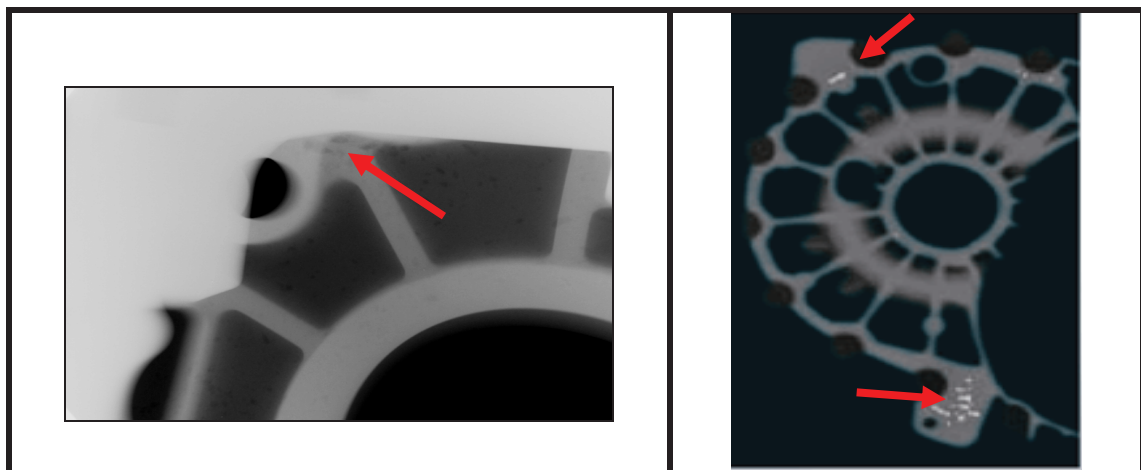


Fonte: Stuewe e Ubeda (2013, p. 5).

Segundo Malavazi (2005) a ocorrência de rechupe está associada à transferência de calor do molde e ao sistema de alimentação da cavidade, sendo mais frequente em regiões de maior espessura, onde não é possível compensar a contração do metal, quando se solidifica.

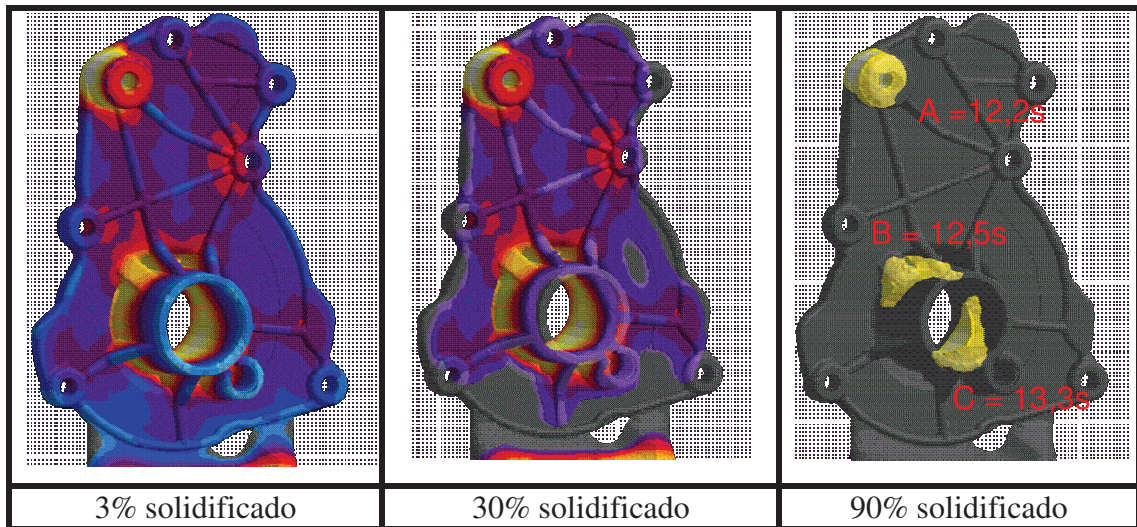
Em relação à análise e detecção dos defeitos de fundição, Stuewe e Ubeda (2013), destacam que os rechupes podem ser detectados por Raios-X ou CT (*Computer Tomography*). A Figura 10 ilustra um rechupe detectado por Raios-X à esquerda, e à direita detectado por CT. Os defeitos estão indicados, na figura, pelas setas.

Figura 10: Rechupe detectado por Raios-X à esquerda e por tomografia à direita



Fonte: Stuewe e Ubeda (2013, p. 5).

Figura 11: Evolução da solidificação do produto observado por meio da simulação



Fonte: Stuewe e Ubeda (2013, p. 5).

Por meio da tecnologia de simulação numérica do processo de fundição de metais, o rechupe é previsto na análise da evolução da solidificação, conforme pode ser observado nos resultados ilustrados na Figura 11. Observa-se a evolução da solidificação do produto por meio da simulação com 3%, 30% e 90%, sendo que na imagem de 90% nota-se o isolamento de líquido nas três regiões destacadas na figura: A, B e C.

O metal líquido isolado nos pontos quentes (rechupe), representado na imagem de 90% solidificado pelas regiões coloridas, solidifica-se reduzindo seu volume, e consequentemente, gerando um vazio, devido à contração (STUEWE e UBEDA, 2013).

Conforme Lima, Palma e Sales (2011) qualquer que seja o processo de fabricação, o controle ou o domínio do maior número de variáveis é essencial para a qualidade do produto.

2.5 Simulação numérica do processo de fundição de metais (SNPFM)

Segundo Heisser, Flender e Sturm (2011) os fundamentos teóricos da condução de calor em matéria sólida foram desenvolvidos por Jean Baptiste Joseph Fourier na *Escole Polytechnique* em Paris, na França. Sua tese: “A teoria analítica de calor” recebeu prêmios em 1822. Ele forneceu a base para todos os cálculos posteriores de condução e transferência de calor em materiais sólidos. O físico e engenheiro francês Navier e o matemático e físico irlandês Stokes, apresentaram posteriormente os conceitos básicos de fluídos.

As equações atuais que descrevem o escoamento de fluídos são conhecidas como equações de Navier-Stokes. São equações derivadas parciais que permitem determinar os campos de velocidade e de pressão num escoamento. Posteriormente as equações básicas que descrevem difusão foram desenvolvidas por Adolf Fick, que trabalhou durante o século 19, na Universidade de Zurique e as publicou em 1855. Na década de 1950, Paschkis utilizou computadores analógicos para prever o movimento de uma frente de solidificação em uma ou duas dimensões (HEISSER; FLENDER e STURM, 2011).

Segundo Rios (1996) os primeiros trabalhos associados à modelagem matemática da transferência de calor foram realizados no início dos anos 1960, da mesma forma que descrevem Heisser, Flender e Sturm (2011) que a partir do desenvolvimento dos primeiros computadores digitais, Fursund foi o primeiro que estudou problemas relacionados aos defeitos de penetração de ligas de aço no molde de areia, em 1962.

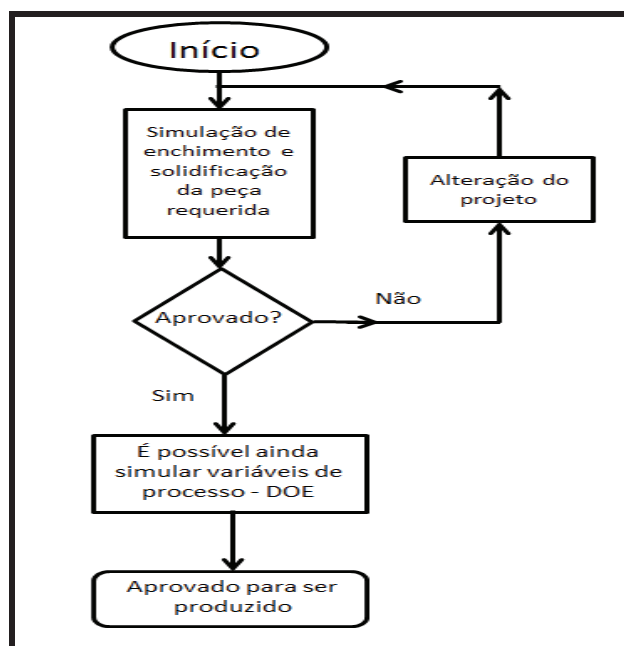
Em 1965, Hentzel e Keverian publicaram seu trabalho pioneiro sobre simulação em duas dimensões de solidificação de peças fabricadas em ligas de aço. Em 1968, Vestby desenvolveu um modelo de duas dimensões para avaliar a distribuição de temperatura na soldagem, utilizando-se, pela primeira vez, o método das diferenças finitas. Em 1970, Davies utilizou os programas desenvolvidos por Vestby para simular distância de alimentação nos fundidos. Hansen publicou sua tese, descrevendo seu trabalho de previsão de trinca a quente em peças fundidas em ligas de aço (HEISSER; FLENDER e STURM, 2011).

No início da década de 1980, as atividades de pesquisa e desenvolvimento em torno do tema da simulação de processos aumentaram substancialmente em vários locais. Hansen na Universidade Técnica da Dinamarca, Berry e Pelke Nos Estados Unidos, Niyama no Japão, Kurz em Lausanne (Suíça), Durand em Grenoble (França) e Sahm em Aachen (Alemanha), este último no Instituto de Fundição (HEISSER; FLENDER e STURM, 2011).

Destaque para alguns eventos importantes: (a) introdução de critérios de análise da simulação por Hansen e Berry (1980); (b) introdução de uma função para descrever porosidades de centro por Niyama (1982) e (c) a proposta de critérios análise para detectar trinca a quente em fundição de peças aço por Flender e Hansen (1984). No final dos anos 1980, as primeiras soluções para simular o enchimento do molde para fabricação de peças pelo processo de fundição foram fornecidas (HEISSER; FLENDER e STURM, 2011).

Campbell (1993) descreve os principais passos para a realização de uma simulação como sendo: (a) entrada de dados no computador por meio de desenho em três dimensões e dados do processo; (b) posteriormente os cálculos numéricos são efetuados pelo software e (c) depois de concluídos os cálculos, as informações são analisadas. A Figura 12 ilustra o procedimento simplificado, descrito por Campbell (1993) para aplicação da simulação do processo de fundição de metais.

Figura 12: Procedimento simplificado para aplicação da simulação numérica



Fonte: Adaptado de Campbell (1993).

Conforme se observa na Figura 12, caso o projeto não seja aprovado pela análise da simulação, por não estar de acordo com as especificações técnicas da peça, previstas pelo cliente ou por norma técnica, é alterado o projeto e uma nova simulação é processada a partir da mesma sequência. Quando o projeto está de acordo, novos testes, tais como um DOE (*Design of Experiments*) pode ser feito com a intenção de conhecer potenciais problemas por meio da combinação das variáveis incluídos no estudo experimental, objetivando melhoria de processo ou redução de custos de fabricação.

Historicamente, o desenvolvimento de ferramentais de fundições tem se dado pelo método da tentativa e erro. O desenvolvimento de uma peça fundida realizado dessa forma é lento, apresentado ainda um custo elevado devido às diversas mudanças necessárias no ferramental de fundição (MENDES; VISCONTI e RONDET, 1993).

Para Oliveira, Guessser e Baumer (2003) as ferramentas de simulação do processo de fundição cumprem papel importante no desenvolvimento de fundidos, auxiliando projetistas e fundidores desde a concepção do produto até a sua produção final.

Para Vieira (2006) a simulação é uma importante aliada no processo de tomada de decisões. A flexibilidade permitida na análise de diferentes cenários, ou configurações de um modelo, permite inúmeras vantagens no uso desta tecnologia.

Uma parte importante do processo de desenvolvimento de mínima quantidade de protótipos para os componentes fundidos do motor é a simulação numérica de processos. O objetivo é identificar a distribuição das propriedades dos materiais, tensões residuais, qual a influência do design de componentes, parâmetros do processo, suas variações e a influência da liga fundida (MENNE et al., 2007).

Para Ravi (2008) a tecnologia de simulação numérica pode ser utilizada nas empresas de fundição de metais para obtenção das seguintes vantagens:

- Melhoria da qualidade e rendimento metálico: a simulação permite melhoria na qualidade das peças e na produtividade. O método para fabricação dos fundidos quando é incorretamente concebido, pode ser refeito quando observadas as falhas por meio da simulação, e corrigido. Mesmo uma pequena melhoria no rendimento metálico pode trazer economia significativa de recursos, ou maior produtividade, também observado por Alves (2009). Os custos da não qualidade com usinagem, transporte, reparos nas peças fundidas, garantia e substituição, estão se tornando cada vez mais importantes, os quais podem ser reduzidos consideravelmente com o uso da simulação.

- Número de testes para aprovação da peça fundida: os ensaios de chão de fábrica para o desenvolvimento de um novo produto, não só elevam o seu custo, como também desviam recursos de produção. O custo de um processo de chão de fábrica inclui a modificação de ferramentas, a fusão, o vazamento, a inspeção, e perda de materiais, que não podem ser recuperados. Na fundição de metais ferrosos o custo de fusão é o mais elevado, enquanto que para a fundição de não ferrosos o custo da modificação de ferramentas é o mais expressivo. Em ambos os casos, o uso da tecnologia de SNPFM permite que mais ensaios virtuais sejam

realizados para alcançar melhor qualidade e rendimento metálico. A simulação permite menores custos e mais rapidez. Realiza-se um número menor de menos testes práticos.

- Agregar valor: os programas de simulação aumentam o nível de confiança em uma fundição para peças mais complexas, que geralmente contribuem com a maior margem. Eles também fornecem uma base científica e documentada para a garantia da qualidade e certificação. A simulação pode apontar os locais prováveis de defeitos internos, que podem ser mais cuidadosamente observados. Muitos clientes preferem fornecedores equipados com simulação. Assim, os programas de simulação se tornam uma valiosa oportunidade na comercialização dos produtos.

- Gestão do conhecimento: esse é um benefício importante, porém de difícil contabilização. Uma vez que o computador armazena as entradas e resultados de cada ensaio virtual. Esta informação pode ser reutilizada para novos projetos similares. Os relatórios de projetos e apresentações, também podem ser usados na formação de novos profissionais.

Para Alves (2009) a utilização da tecnologia de SNPFM pode ser uma alternativa para melhoria da confiabilidade dos processos produtivos e na obtenção de projetos mais ágeis e com menores custos, nas empresas de fundição. Uma das maneiras mais efetivas de diminuir o impacto do custo do metal na peça é por meio do aumento do rendimento metálico que é a relação entre o peso líquido da peça e o peso bruto ou total de metal para produzi-la.

Segundo Ravi (2010), a partir de um estudo realizado com 215 fundições da Índia, o uso de CAD, CAM e simulação, contribuiu com as empresas na: (a) redução do tempo médio de desenvolvimento em 30%; (b) redução pela metade da taxa média de rejeição; (c) melhoria no rendimento metálico; (d) redução de custos e (e) satisfação de clientes. A redução nos custos com metal, descrito por Alves (2009) foi observado por Ravi (2010) na sua pesquisa, reforçando a tese da vantagem competitiva obtida com o a prática da SNPFM. À medida que são reduzidos os custos diretos, por meio de diminuição da mão de obra utilizada no processo ou da matéria-prima, o custo total é reduzido, mesmo que as despesas, por exemplo, não possam ser reduzidas naquele momento, conforme descreve Martins (2008), na Figura 4.

A complexidade dos processos metalúrgicos requer o uso de ferramentas computacionais avançadas para: o cálculo, a otimização, o armazenamento e análise de dados

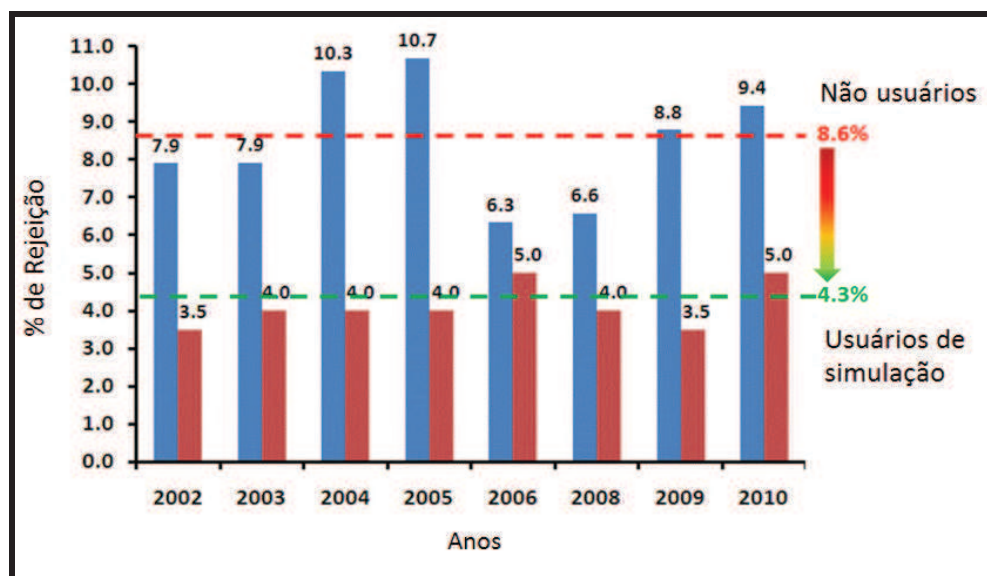
técnicos. Vários programas de computador são utilizados pela indústria de fundição. A interdisciplinaridade da tecnologia de fundição requer o uso de ferramentas modernas para a sua concepção e otimização (MALINOWISKI e SUCHY, 2010). Segundo Lima, Palma e Sales (2011) a principal aplicação da simulação computacional do processo de fundição está relacionada com a previsão de descontinuidades, e destacam ainda, que as fundições que possuem domínio das variáveis e parâmetros de seu processo podem extrair mais vantagens do uso da simulação computacional. Esse conhecimento acumulado é uma forma de geração da competência essencial, conforme descreve Akabane (2012), que a mesma pode assumir várias formas, incluindo conhecimentos técnicos.

Ravi (2011) observa que os profissionais de fundição trabalham para reduzir as rejeições encontradas nas peças por meio de experimentos de parâmetros do processo (como a composição da liga ou temperatura de vazamento). Quando estas medidas são ineficazes, são alterados os projetos (canais e massalotes). À medida que não são encontradas soluções, então o ferramental é modificado (linha de partição ou disposição das peças na cavidade). Segundo Lima, Palma e Sales (2011) a simulação computacional do processo de fundição é uma ferramenta com elevado potencial para ser aplicada de maneira sistemática nas fundições objetivando a melhoria do processo produtivo e da qualidade do produto, podendo ser utilizada como ferramenta de engenharia no suporte para os trabalhos descritos por Ravi (2011). A simulação deve ser utilizada para a prevenção de descontinuidades nos produtos a serem fabricados, em razão de sua efetiva capacidade de reproduzir virtualmente, com fidelidade, os possíveis resultados para as condições de fabricação planejadas.

Para Schmidt e Sturm (2013) a construção ágil do ferramental ou modelo de fundição, representa um fator competitivo. O tempo de confecção pode ser reduzido aplicando técnicas modernas de gestão, realizando a execução de diversas partes em paralelo. Mas esta vantagem competitiva pode ser comprometida, se o ferramental necessitar de várias alterações até que uma condição robusta de produção seja alcançada, já destacado por Ravi (2008). Ainda para os mesmos autores, as alterações de ferramental ou modelos são necessárias na maioria das vezes devido a erros na sua fabricação, modificação do projeto e correções dimensionais. As modificações geram perdas de competitividade e custos associados: (a) ao uso de equipamentos e recursos humanos para o planejamento e execução; (b) ao tempo gasto para a realização da alteração; (c) ao tempo de transporte do modelo ou ferramental e (d) ao tempo necessário para a produção de novas amostras e a sua validação.

Outros estudos publicados por Ravi (2011) mostram que a substituição de ensaios de chão de fábrica por simulação computacional permite obter economia de tempo, fornece uma visão melhor e ajuda a reduzir as rejeições pela metade. Um estudo realizado com duzentas fundições da Índia demonstrou um resultado percentual de rejeição das peças fundidas maior (em média 8,6%) para as empresas não usuárias de simulação numérica, quando comparado com o percentual médio de rejeição das peças fundidas (4,3%) nas empresas usuárias de simulação, conforme ilustra a Figura 13.

Figura 13: Taxa média de rejeição entre usuários e não usuários de simulação



Fonte: Ravi (2011, p. 2).

Na utilização de métodos numéricos para a simulação de solidificação, a geometria do fundido é dividido numa série de elementos, sendo aplicadas equações ao longo de intervalos de tempo. O FDM (Método das diferenças finitas) e o FEM (Método dos elementos finitos) constituem os métodos de aproximação mais comuns na maioria dos programas de simulação. Em função da complexidade dos cálculos é utilizado computador (TEIXEIRA, 2013).

Uma importante vantagem das ferramentas numéricas de simulação é a de permitir realizar testes virtuais e prever comportamentos do material antes da fabricação, minimizando ou evitando a necessidade de pré-séries (TEIXEIRA, 2013) que não só elevam o seu custo, como também desviam recursos de produção (RAVI, 2008). Para Khade e Sawat (2014), o processo convencional de fundição inclui ensaios reais de chão de fábrica, sendo necessárias alterações no tamanho do massalote, a forma e localização dos canais e disposição de peças no molde em cada um dos testes caso a peça não seja aprovada. Há impacto destas

modificações práticas: (a) no custo do ferramental; (b) na adaptação do ferramental; (c) na fusão das ligas; (d) nos atrasos de entrega; (e) no consumo de energia; (f) nos insumos de fundição e (g) no tempo total de desenvolvimento do projeto. No processo assistido por computador, as modificações são feitas com base nos resultados virtuais, economiza-se os custos de fabricação que ocorrem na prática de fundição, pelo método convencional, também descrito por Schmidt e Sturm (2013).

A simulação computacional do processo de fundição é uma ferramenta que auxilia a tomada de decisão com o objetivo de alcançar a garantia de qualidade, em menor tempo e sem consumir ensaios práticos na fundição (GONDKAR e INAMDAR, 2014).

Os pacotes de software por meio de informações tais como: características de enchimento da cavidade; defeitos decorrentes de turbulências do sistema de canais; falhas de solidificação; resultado de dureza; perfil térmico do sistema; propriedades mecânicas; espaçamentos dos braços dendríticos; rechupes; características microestruturais; entre outros, permitem prever a localização dos defeitos e que sejam tomadas as decisões de modificar o projeto (GONDKAR e INAMDAR, 2014).

Segundo Gondkar e Inamdar (2014) o uso da simulação pode reduzir: (a) defeitos de fundição; (b) os custos de fabricação e (c) o prazo de entrega em até 25%. Segundo Souza, Aguilar e Nogueira (2012) o alto nível de concorrência tem conduzido as indústrias brasileiras a se depararem com desafios de melhoria de qualidade de seus produtos aliado a uma constante necessidade de redução de custos de produção.

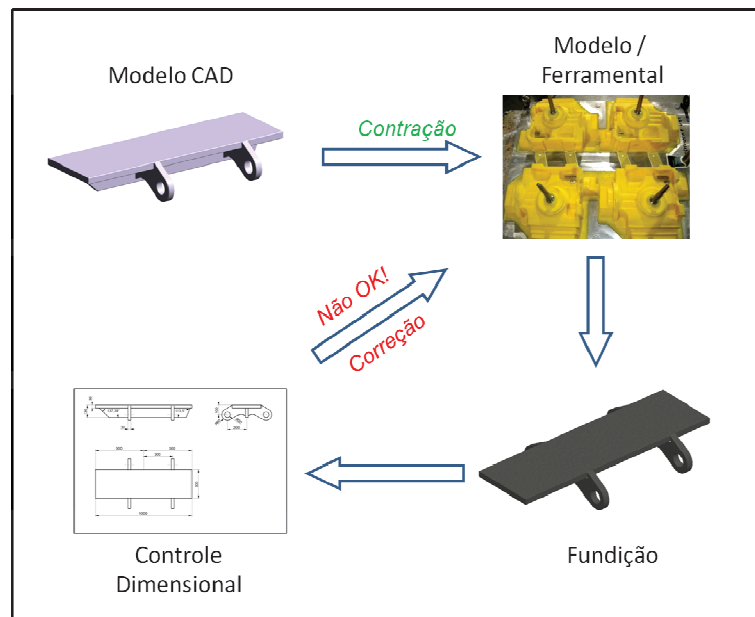
2.5.1 Caso de aplicação da simulação na aprovação dimensional de fundidos

Um caso prático da aplicação da tecnologia de simulação, por exemplo, é na definição do dimensional do ferramental ou modelo de fundição.

Segundo Schmidt e Sturm (2013) a aprovação dimensional de componentes fundidos segue, a partir do modelo usinado, a seguinte rota tradicional de desenvolvimento: (1) adição do sobremetal para a usinagem; (2) aplicação da contração; (3) geração da nova geometria; (4) fabricação do modelo ou ferramenta; (5) produção de amostras; (6) medição das amostras e comparação com as dimensões especificadas e (7) geração do relatório de desvios.

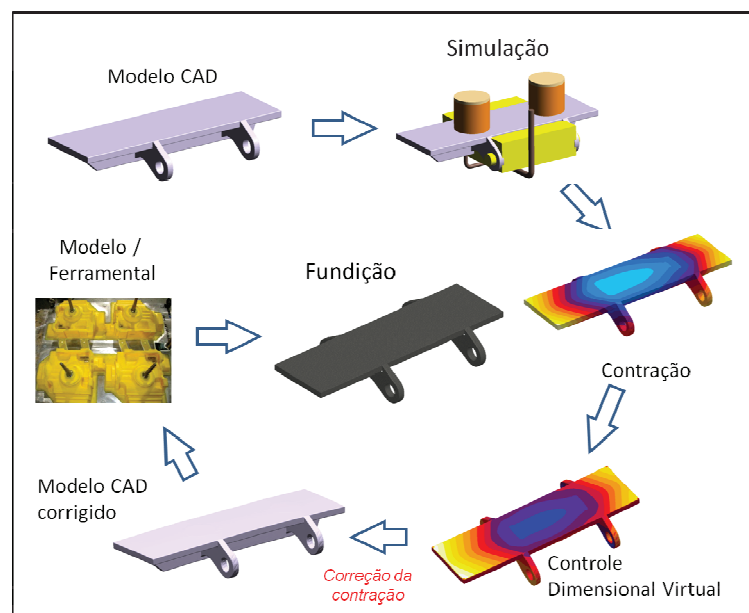
Após a geração do relatório dimensional, os desvios são avaliados e quando necessário, são feitas correções repetindo-se as etapas três a seis, até que as dimensões se encontrem dentro da tolerância especificada. A Figura 14 demonstra esquematicamente o desenvolvimento tradicional e a Figura 15 o procedimento sem utilização de amostras prévias.

Figura 14: Esquema do procedimento tradicional



Fonte: Schmidt e Sturm (2013, p. 4).

Figura 15: Esquema do procedimento sem utilização de amostras prévias



Fonte: Schmidt e Sturm (2013, p. 5).

Segundo Schmidt e Sturm (2013) é possível a produção de fundidos dimensionalmente corretos, sem a utilização de amostras reais, determinando-se a contração correta por meios computadorizados, por meio do uso da tecnologia de simulação.

O modelo CAD inicial recebe a aplicação dos fatores de contração, incorpora-se na simulação que determinará a contração do produto. A forma final do produto é avaliada digitalmente, confrontando as dimensões obtidas pela simulação em relação às dimensões e tolerâncias especificadas. A nova geometria deverá ser simulada para verificar se as correções produziram o resultado desejado e em caso afirmativo, o modelo poderá ser utilizado para a construção do ferramental.

3 METODOLOGIA

Esta seção apresenta a metodologia e descreve os métodos utilizados nesta pesquisa.

3.1 Classificação da pesquisa

Esta pesquisa se caracteriza por ser aplicada, qualitativa e exploratória. Tem por objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema a fim de torná-lo mais explícito por meio de: (a) levantamento bibliográfico; (b) entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; e (c) análise de exemplos que estimulem a compreensão (GIL, 2010).

Godoy (1995) destaca as características principais de uma pesquisa qualitativa. São elas: considera o ambiente como fonte direta dos dados e o pesquisador como instrumento chave, possui caráter descritivo, o processo é o foco principal de abordagem e não o resultado ou o produto, a análise dos dados é realizada de forma intuitiva e indutivamente pelo pesquisador, não requer o uso de técnicas e métodos estatísticos e tem como preocupação maior a interpretação de fenômenos e a atribuição de resultados.

Para Denzin e Lincoln (2001) as pesquisas de natureza qualitativa envolvem uma grande variedade de materiais empíricos, que podem ser estudos de caso.

Segundo Creswell (2010) os pesquisadores qualitativos tendem a coletar dados no campo e no local em que os participantes vivenciam o problema que está sendo estudado. Ainda para o mesmo autor, a pesquisa qualitativa é uma forma de investigação interpretativa na qual os pesquisadores enxergam, ouvem e entendem.

Para Bêrni e Fernandez (2012) a pesquisa com análise qualitativa aplica-se quando a literatura sobre determinado tema ou fenômeno é escassa, neste caso a pesquisa terá caráter exploratório e não haverá hipóteses preliminares.

Nesta pesquisa os dados foram coletados em campo com atuação direta nas empresas de fundição de metais no Brasil. Aplicou-se: (a) survey em um evento fechado para usuários da tecnologia de SNPFM e (b) estudo de casos múltiplos em oito empresas de fundição de metais, para obtenção dados para a pesquisa..

3.2 Delineamento da pesquisa

O delineamento da pesquisa consistiu no estabelecimento dos procedimentos para coleta de dados, metodologia para análise das informações coletadas e validação da pesquisa.

Na fase 1 realizou-se uma survey, com um grupo de profissionais de um determinado software de simulação numérica usado por empresas de fundição de metais. A partir de um questionário entregue aos participantes em um evento fechado para usuários do software, objetivou-se o conhecimento sobre a aplicação e uso do mesmo.

Na fase 2 realizou-se o estudo de casos múltiplos com oito empresas do segmento de fundição de metais do Brasil. Foram realizadas entrevistas semiestruturadas com perguntas abertas, em visita realizada em cada uma das empresas. Levantaram-se informações relevantes para esta pesquisa, com relação ao uso da tecnologia de SNPFM.

Nos tópicos a seguir são descritos os passos adotados na pesquisa:

- a) Realização da pesquisa bibliográfica a respeito dos temas: vantagem competitiva; competitividade; estratégia; competição; fundição e simulação numérica.
- b) Elaboração do questionário para a Survey.
- c) Realização de pré-teste do questionário para a Survey.
- d) Aplicação da Survey no Encontro de Usuários do software chamado MAGMA⁵.
- e) Recebimento das respostas da Survey, aplicada em evento fechado de dois dias.
- f) Tabulação e análise criteriosa da Survey. Preparação das questões e objetivo para a realização do estudo de casos múltiplos nas empresas.
- g) Consulta às empresas solicitando aprovação da visita para realização das entrevistas com os profissionais.
- h) Visita em cada uma das oito empresas. Realização das entrevistas e coleta de outras informações nos estudos de caso.
- i) Redação e relatório com os resultados consolidados da survey e do estudo de casos múltiplos nas oito empresas.

3.3 Fase 1 – Survey

Trata-se de um método amplamente utilizado em pesquisas de opinião pública, de mercado e, atualmente, em pesquisas sociais que, objetivamente, visa descrever, explicar e/ou

explorar características ou variáveis de uma população por meio de uma amostra estatisticamente extraída desse universo. Semelhante ao Censo, o método Survey distingue-se do primeiro justamente por sua característica amostral, na qual as conclusões descritivas e explicativas obtidas pela análise são generalizadas para a população da qual a amostra foi selecionada (BABBIE, 1999). O uso em pesquisa sociológica, da Survey, é creditado a pensadores como Karl Marx e Max Weber, os quais utilizaram o método, para avaliar o grau de exploração de trabalhadores franceses e no estudo da ética protestante, respectivamente.

Contemporaneamente, a Survey foi largamente utilizada e desenvolvida pelos centros de pesquisas norte-americanos. O uso comercial do método em pesquisas de opinião pública e de análise de mercado possibilitou seu progresso, principalmente no que tange aos métodos de amostragem, à construção dos instrumentos de pesquisa e às técnicas de coleta de dados.

Neste trabalho utilizam-se as Surveys interseccionais, cross-sectional ou corte-transversal que se trata de uma pesquisa na qual os dados são coletados em uma amostra, em um dado momento, sendo essas informações válidas para descrever ou determinar relações entre variáveis da população, na mesma época, conforme Babbie, 1999.

São etapas de uma Survey típica: (a) definição do objetivo da pesquisa; (b) definição da população e da amostra; (c) elaboração do questionário; (d) coleta de dados (ou trabalho de campo); (e) processamento dos dados; (f) análise dos dados e (g) divulgação dos resultados. Para esta pesquisa um questionário foi elaborado para a Survey, apresentado no Apêndice A.

O plano amostral de uma Survey torna-se “peça chave” para o bom desenvolvimento da pesquisa e, conseqüentemente, para uma representatividade da população. Dois tipos de amostragem podem ser possíveis: amostragem probabilística e não probabilística.

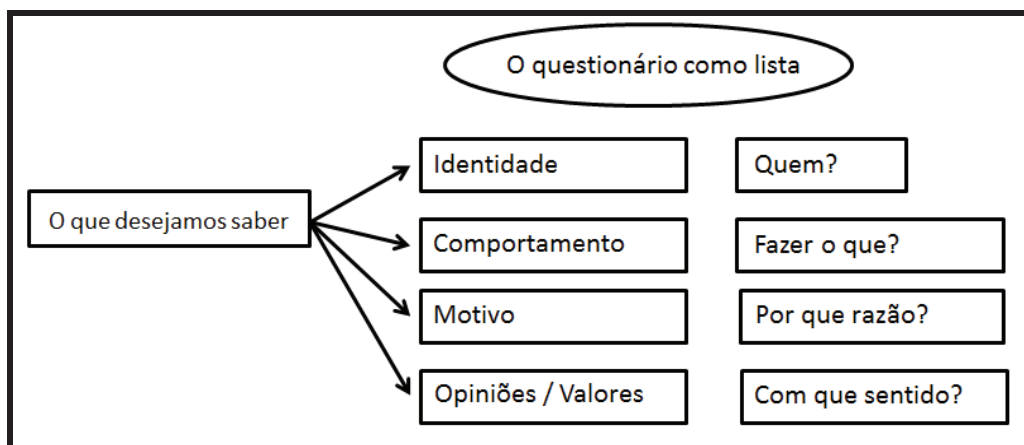
Um modelo não probabilístico de amostragem pode ser requerido quando o modelo probabilístico é dispendioso em demasia e/ou quando a representatividade exata de uma população não é necessária (BABBIE, 1999). Assim sendo, a amostra não probabilística é aquela na qual se lança mão de algum critério para seleção dos elementos fazendo com que nem todos os indivíduos da população tenham chances de serem selecionados. Segundo Freitas et al. (2000), um dos tipos de amostra não probabilística que pode ser identificado é: por conveniência, no qual os elementos são identificados por estarem disponíveis. Esse foi o

critério de escolha da amostragem nesta pesquisa, feita com os usuários de um software de simulação numérica, em um evento fechado, não havendo intenção da generalização dos resultados, mas sim, com objetivo de coleta das informações iniciais para a pesquisa.

O tamanho da amostra é outro fator importante para se garantir a representatividade da população. Esse tamanho refere-se ao número de elementos dos quais os dados serão coletados, ou simplesmente o público entrevistado. Quanto maior uma amostra, mais representativa ela é. Porém, sabe-se que fatores como complexidades da população, poucos recursos financeiros e tempo limitado para realização da pesquisa são determinantes para a seleção do tamanho da amostra. Foram pesquisados 57 profissionais.

A coleta de dados de uma Survey pode ser realizada via entrevistas pessoais, por telefone, por correio ou mesmo pela internet. Tais meios podem exigir ou não a presença do entrevistador. Porém, qualquer que seja o meio utilizado, o questionário é o instrumento essencial para se chegar ao fim desejado. Nesta pesquisa adotou-se a entrega dos questionários em um evento fechado com usuários do software de simulação MAGMA⁵. A Figura 16 ilustra a concepção e a função do questionário adotado na pesquisa.

Figura 16: A concepção e a função do questionário



Fonte: Adaptado de Freitas, et al. (2000).

A construção do questionário deve ser realizada com atenção e rigor metodológico, uma vez que este tem impacto direto na confiabilidade e validade das informações levantadas. Simões e Pereira (2007) apontam que a elaboração de questões e a construção de um questionário devem ser guiadas não apenas pela experiência e intuição, mas também pela

experimentação rigorosa. Em um questionário de perguntas fechadas, o pesquisador deve preocupar-se em esgotar o universo de respostas possíveis para as questões, evitando que informações sejam perdidas ou que as respostas dos entrevistados não estejam contempladas.

Para este trabalho, as perguntas do questionário foram elaboradas com foco em três pontos: (1) o mapeamento da realidade dos usuários do software; (2) a aplicação na empresa da tecnologia da simulação numérica no processo de fundição de metais e (3) uma avaliação das vantagens do uso da tecnologia, do ponto de vista do usuário.

O pré-teste é um importante recurso para se identificar, principalmente, problemas e/ou limitações do questionário. Para Simões e Pereira (2007), o pré-teste é um elemento central para a validade dos dados no que concerne à verificação e aprimoramento da operacionalização das questões de pesquisa e dos conceitos, ou seja, na passagem da teoria para o empirismo.

Realizou-se o pré-teste com três profissionais da área de fundição de metais que trabalham na empresa MAGMA Engenharia do Brasil Ltda, os quais deram sugestões e apontaram dúvidas em relação a duas perguntas do questionário, número 5 e 15. Após o pré-teste o questionário foi corrigido.

3.3.1 A pesquisa Survey

A pesquisa Survey foi aplicada com os usuários de um software de simulação numérica do processo de fundição de metais chamado MAGMA⁵. O software é alemão, representado no mercado Sulamericano pela empresa Magma Engenharia do Brasil Ltda, com sede na cidade de São Paulo. A empresa cedeu espaço para a realização da pesquisa em seu evento fechado, realizado anualmente, denominado Encontro Sulamericano de Usuários MAGMA⁵. Estavam presentes no evento 65 profissionais, de 38 empresas diferentes.

O evento, em sua décima sétima edição, foi realizado no Rádio Hotel, localizado à Rua: Coronel Pedro Penteadó, 387, Centro, Serra Negra, São Paulo, nos dias 15 e 16 de agosto de 2013, nos horários: das 08h30 às 18h30 no primeiro dia, e das 08h30 às 13h30 no segundo dia. Os questionários ficaram disponíveis para que fossem respondidos durante o evento, sendo entregues aos participantes no dia 15 de agosto pela manhã.

Neste evento técnico, ao longo dos dois dias, foram apresentados trabalhos desenvolvidos pelos usuários do software e pela empresa organizadora. As apresentações foram focadas na aplicação da simulação numérica do processo de fundição de metais.

Responderam a pesquisa funcionários de empresas localizadas nos estados de: Minas Gerais; Paraná; Rio Grande do Sul; Santa Catarina e São Paulo. Foram entregues 65 questionários, dos quais 57 foram respondidos e devolvidos ao final do evento.

3.4 Fase – 2: Estudo de casos múltiplos

Nesta pesquisa, a adoção de estudo de caso tem relação com a resposta ao objetivo e às questões de pesquisa. O estudo de caso é utilizado para contribuir com o conhecimento que existe sobre determinado fenômeno, o qual permite uma investigação para se preservar as características holísticas e significativas dos acontecimentos da vida real (YIN, 2005).

Martins (2008) orienta que o estudo de caso é uma metodologia válida. Pode-se confirmar em Yin (2005) que o estudo de caso é válido quando o pesquisador tem pouco controle sobre os eventos e em situações nas quais o foco se encontra em fenômenos complexos e contemporâneos.

Trata-se, de uma das mais antigas formas de investigação científica conhecida. Essa técnica é também considerada uma forma válida de se manter registros (MARTINS, 2008). Para Miles e Huberman (1994) no que se refere à escolha, é necessário pensar primeiro nos casos que sejam típicos ou representativos do fenômeno. Nesta pesquisa foram estudadas empresas do setor de fundição de metais que utilizam a tecnologia de SNPFM.

Miles e Huberman (1994) sugerem quatro questões para auxílio na determinação da escolha dos casos, são elas: (1) A amostra escolhida é relevante para o quadro referencial e para as questões de pesquisa? (2) O fenômeno no qual você está interessado pode ser identificado na amostra? (3) Os casos escolhidos permitem comparação e algum grau de generalização? (4) Os casos selecionados são considerados viáveis, no sentido de acesso aos dados, custo envolvido e tempo para coleta de dados?

Quanto ao controle, o método do estudo de caso permite que seja analisada uma

situação na qual não o pesquisador não faça intervenções. Neste método os dados são coletados a partir de múltiplas fontes, todas baseadas em relatos, documentos ou observações, conforme proposto por Denzin e Lincoln (2001) e adotado nesta pesquisa.

A referência para o estudo de caso está baseada na obra de Yin (2005), analisada por Martins (2008) que propõe adequação e reparos, para o contexto brasileiro da pesquisa. A obra de Yin descreve sobre a aplicabilidade do estudo de caso na pesquisa no Brasil, na qual ele privilegia a aplicação da metodologia por meio de equipes de pesquisadores, relegando a um segundo plano a possibilidade de execução do processo de inquirição em um nível individual, embora o próprio Yin também cite exemplos consistentes de pesquisa de estudo de caso bem-sucedidas que tiveram sua origem na investigação individual (MARTINS, 2008).

Esse é um dos aspectos que leva Martins (2008) a concluir que a referida proposta ainda requer uma contextualização para o cenário brasileiro, pois a tradição de investigação científica no país, particularmente, no que se refere aos cursos de mestrado e doutorado, configura-se como uma investigação solitária, e não coletiva, como é o caso desta pesquisa.

Tanto para Yin (2005) como para Martins (2008), o pesquisador também deve estar preparado para fazer uso de várias fontes de evidências. Desta maneira terá condições para se afirmar com fidedignidade a validade dos resultados por meio de triangulações de informações, dados, evidências e mesmo de teorias. Quanto ao foco temporal, o método do estudo de caso é bastante amplo, pois permite que o fenômeno seja estudado com base em situações contemporâneas, que estejam acontecendo, ou em situações passadas, que já ocorreram e que sejam importantes para a compreensão das questões de pesquisa colocadas.

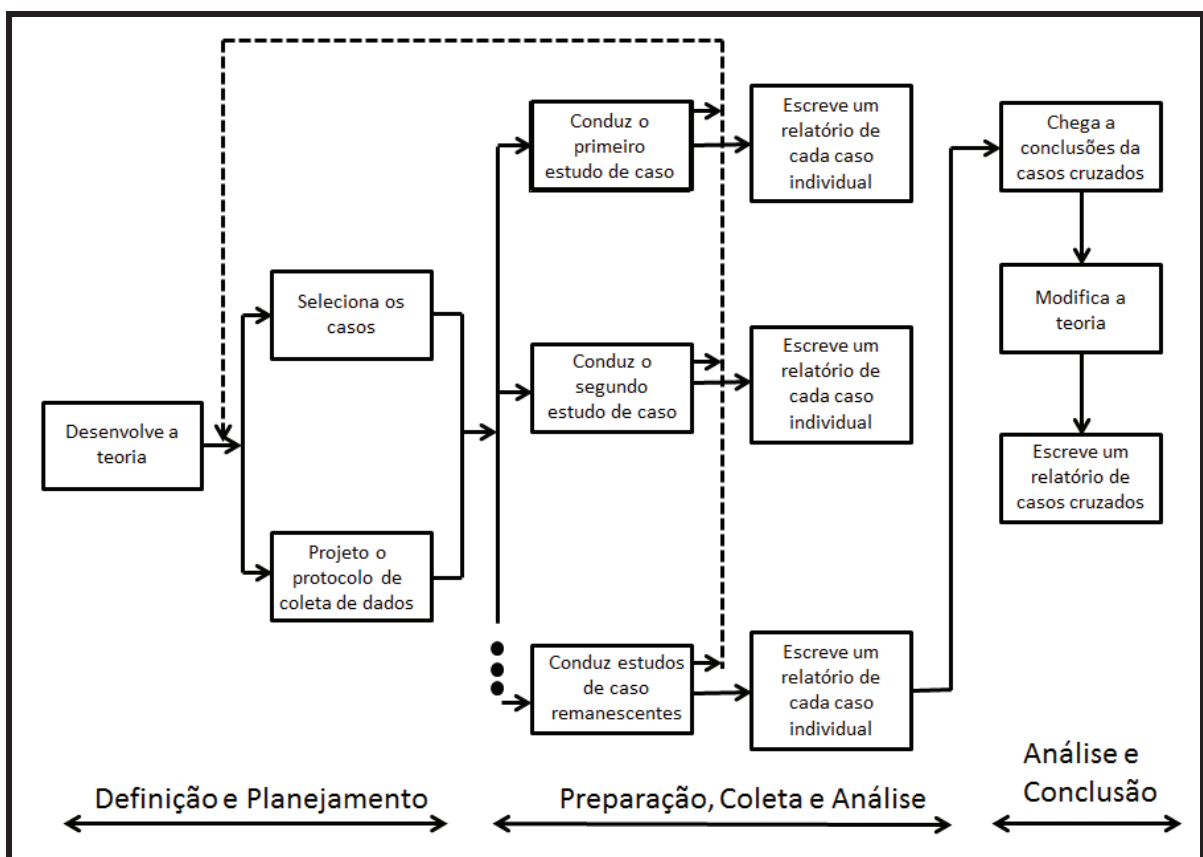
Conforme indica Yin (2005), adotou-se nesta pesquisa o estudo a partir de casos múltiplos. O estudo foi realizado com oito empresas do setor de fundição de metais que fazem uso da tecnologia de SNPFM. Ainda para o mesmo autor as pesquisas de casos únicos são vulneráveis, porque o pesquisador apostará tudo em um único caso, por outro lado, os benefícios de um estudo de casos múltiplos podem ser substanciais.

A Figura 17 ilustra a etapa inicial do projeto do estudo, e consiste no desenvolvimento da teoria e, em seguida, aponta para a importância da seleção do caso e a definição das medidas específicas como etapas para o processo de planejamento e coleta de dados. Cada

estudo de caso em particular consiste em um estudo completo, no qual se procuram evidências convergentes com respeito aos fatos e às conclusões para o caso.

Ainda na Figura 17, a linha pontilhada, representa uma situação em que ocorre uma descoberta importante durante a realização de um dos estudos de caso individual, caso isso ocorra um reprojeto – com destaque para uma questão ou levantamento de dados – deve ocorrer antes de se continuar avançando.

Figura 17: Método de estudo de casos múltiplos



Fonte: Adaptado de Yin (2005).

3.4.1 Etapas de um estudo de casos e utilização nesta pesquisa

Um projeto de pesquisa a partir do método do estudo de caso possui três etapas distintas: (1) a escolha do referencial teórico sobre o qual se pretende trabalhar e a seleção dos casos e o desenvolvimento de protocolos para a coleta de dados; (2) a condução do estudo de caso, com a coleta e análise de dados, culminando com o relatório do caso e (3) a análise dos dados obtidos à luz da teoria selecionada, interpretando os resultados.

Na primeira etapa do estudo de caso deve-se atentar para o desenvolvimento do protocolo, os instrumentos e as regras gerais a serem adotados no estudo e onde estão listados: uma visão geral do projeto, com tema do mesmo, questões de estudo e leituras norteadoras; procedimentos a serem adotados para coleta dos dados; plano de análise dos dados coletados, com discriminação da natureza das informações colhidas (YIN, 2005).

Na segunda etapa do estudo são colhidas as evidências que irão compor o material sobre o caso; trata-se da análise de documentos, do desenvolvimento de entrevistas junto às pessoas relacionadas ao caso, de observações ou mesmo da utilização de artefatos, como gravador. O que é fundamental, neste momento, é a utilização de várias fontes de evidência, como a triangulação de dados, de avaliadores, de métodos ou mesmo de teorias ou perspectivas diferentes que possam explicar os dados.

Na última etapa do estudo de casos busca-se a categorização e a classificação dos dados, tendo-se em vista as proposições iniciais do estudo.

A metodologia de casos múltiplos foi adotada nesta pesquisa para ampliar a coleta de informações, decorrentes da Fase 1, por meio de: (a) observação, (b) entrevistas em profundidade e semiestruturadas e (c) análise de documentos.

Nesta fase buscou-se um levantamento mais amplo de informações e análise, com o intuito de responder as questões de pesquisa, e a construção do mapa mental relacionando à gestão da tecnologia de simulação numérica do processo de fundição de metais e a competitividade das empresas no Brasil.

A empresa MAGMA Engenharia do Brasil Ltda, no mesmo seminário do: 17º Encontro Sulamericano de Usuários MAGMA⁵ disponibilizou uma lista em que constavam setenta empresas que possuíam, naquela data, o software de SNPFM no Brasil. Com base nesta lista de empresas e baseado em Miles e Huberman (1994) e em Yin (2005) – que desconsideram a amostragem, em relação ao número de casos múltiplos, porém aconselham que o pesquisador pense na possibilidade de replicações de caso – foram selecionadas oito empresas, as quais foram consultadas. Todas concordaram em participar da pesquisa.

As empresas foram escolhidas com base nos critérios: (a) diferentes processos de

fabricação; (b) pelo menos uma empresa de cada liga metálica – dentre as principais utilizadas em fundição (ferro, alumínio e aço); (c) empresas de diferentes regiões geográficas e estados e (d) tempo e experiências distintas no uso da tecnologia de simulação numérica.

Conforme Martins (2008), anteriormente à formalização do convite às empresas, explicou-se o caráter acadêmico da pesquisa e os objetivos, para então contar com a permissão formal do principal responsável pela unidade em estudo. Para solicitação da aprovação da empresa, foi enviada uma carta, fornecida pela secretaria da unidade do curso e assinada também pelo orientador, destacada no Apêndice B.

Após o aceite da empresa, foram agendados: data, hora e local da visita. Na data agendada a visita foi realizada em cada uma das oito empresas. Os tópicos abordados nas entrevistas foram orientados pela Survey com o objetivo de construir o conhecimento necessário para atender os objetivos da pesquisa. O roteiro elaborado para ser utilizado nas entrevistas do estudo de casos múltiplos, está descrito no Apêndice C.

Martins (2008) recomenda que o pesquisador seja devidamente apresentado, para que não seja confundido pelo grupo de profissionais da empresa com um auditor ou inspetor. Este procedimento foi adotado em todas as oito visitas, para realização das entrevistas. Nas visitas, além da realização da entrevista e observação, solicitou-se a disponibilidade de documentos que viessem de encontro às respostas ao objetivo da pesquisa. Para a entrevista, buscou-se local reservado na própria empresa, apropriado para a entrevista, com mesa e cadeiras, gravador de voz para registro e roteiro de perguntas do pesquisador.

O pesquisador ao mesmo tempo em que se apresentava, informava sobre os objetivos da pesquisa, o título da dissertação, nome do orientador e da instituição de ensino, e solicitava permissão para gravação da entrevista (todos concordaram). No início das entrevistas registrou-se: data, local, horário da entrevista, nome da empresa e do entrevistado. Após a introdução, o entrevistado era convidado a se apresentar, dizendo seu nome, formação, experiência profissional e acadêmica. Segundo Creswell (2010) as informações coletadas por meio da conversa direta com as pessoas e da observação de como elas se comportam e agem dentro de seu contexto é uma característica da pesquisa qualitativa.

Nas oito empresas pesquisadas, dezesseis profissionais foram entrevistados. Do total

de entrevistados, 60% são gestores de área e 40% responsáveis pela operação do software.

A análise documental baseou-se nas entrevistas gravadas e as respectivas transcrições na íntegra, por meio da análise de conteúdo. Da mesma forma, algumas empresas permitiram que seus profissionais entrevistados fornecessem algum tipo de documento: gráficos, tabelas, figuras, entre outros, que pudessem validar as entrevistas.

Isso não ocorreu com todas as empresas, e se percebeu a existência de dois motivos principais: confidencialidade, uma vez que boa parte da informação é específica de seus clientes; barreira competitiva, manter o sigilo de informações referentes à competitividade, principalmente para as empresas que ainda não fazem uso da tecnologia SNPFM no Brasil.

Na análise dos documentos propõe-se produzir ou reelaborar conhecimentos e criar novas formas de compreender os fenômenos (SÁ-SILVA, ALMEIDA e GUINDANI, 2009). Para Pimentel (2001) uma maneira de proceder com a análise documental é organizar toda a documentação em quadros de termos-chave, aos quais se acrescentam observações ou comentários sobre relações com as questões da pesquisa, com o propósito de instrumentalizar a análise dos conceitos fundamentais apresentados nos documentos. A autora sugere que os quadros sejam separados em unidades de análise.

Conforme Sá-Silva, Almeida e Guindani (2009) a pesquisa documental é muito próxima da pesquisa bibliográfica. A principal diferença está na natureza das fontes: a pesquisa bibliográfica remete para as contribuições de diferentes autores sobre o tema, atentando para as fontes secundárias, enquanto a pesquisa documental recorre a materiais que ainda não receberam tratamento analítico, ou seja, as fontes primárias.

Todas as entrevistas realizadas para a pesquisa foram gravadas na íntegra, com equipamento compatível, anteriormente testado e aprovado para esta finalidade. A extensão de gravação original foi a “3ga”, e posteriormente convertida para “MP3” utilizando-se o programa disponível no site: <http://www.online-convert.com>. As gravações foram transcritas na íntegra, para posterior análise de conteúdo. Não foi observado nada que pudesse ocasionar dúvidas de interpretação e prejudicar os resultados da pesquisa.

Conforme Pimentel (2001) a documentação das entrevistas foram organizadas em quadros de termos-chave e em unidades de análise. Com base em cada uma destas unidades de análise destacou-se aspectos relacionados ao objetivo e às questões de pesquisa.

3.5 Coleta de dados e análise documental

Adotou-se nesta pesquisa a análise de conteúdo do material coletado nas entrevistas. Conforme Sá-Silva, Almeida e Guindani (2009) podem-se explorar as ligações existentes entre os itens, procurando estabelecer relações e associações e passando a combiná-los, separá-los ou reorganizá-los a fim de extrair significados temáticos.

Para Bardin (1977) a análise de conteúdo é um conjunto de técnicas de análise das comunicações, que utiliza procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens. A autora cita ainda que podem ser submetidos à análise: documentos naturais e documentos suscitados pelas necessidades de estudo.

As visitas e a observação foram importantes para identificar e compreender o jargão específico de cada empresa, com diferentes descrições para as etapas do processo produtivo, e outros. Nota-se, por exemplo, nos relatos dos entrevistados que quando eles mencionam a palavra “item” se referem às “peças”. O projeto é a determinação do sistema de moldagem, o cálculo de canais, o massalote, o uso de resfriador, luvas no processo, entre outros. Nas entrevistas são citados pelos entrevistados os defeitos indesejáveis, por exemplo: porosidade, vazios de solidificação, óxidos, inclusões, rechupe, trinca e junta fria.

Segundo Vianna (2003), as informações científicas são diferentes das obtidas por observação causal. Ao observador não basta simplesmente olhar. Deve saber ver, identificar e descrever diversos tipos de interações e processos. A observação contribui para o desenvolvimento do conhecimento científico por coletar dados de natureza não verbal.

É recomendável que o pesquisador faça uma triangulação da observação com dados de outras fontes. Nesta pesquisa o conteúdo tem origem: (a) na survey; (b) no estudo de casos múltiplos; (c) na visita aos sites das empresas e (d) nas informações enviadas pelas empresas. A observação visa gerar novos conhecimentos e não confirmar, necessariamente, teorias.

Adotou-se a observação nas visitas às oito empresas. Foram observados: (a) o processo produtivo; (b) a forma como a empresa utiliza a tecnologia de SNPFM não relatado explicitamente nas entrevistas; (c) o número de pessoas envolvidas desde o projeto na engenharia até a execução na prática de fundição e (d) tipos de peças produzidas e simuladas.

As empresas pesquisadas estão localizadas nas seguintes regiões e respectivos estados:

- Região Sul: Andreas Stihl (RS); Cercena S/A Indústria Metalúrgica (RS) e Metalúrgica Candeia (RS).

- Região Sudeste: Amsted Maxion Fundição e Equipamentos Ferroviários S/A (SP); BR Metals Fundições Ltda (RJ); Nematik Alumínio do Brasil (MG); Sada Siderurgia (MG) e Voith Hydro (SP).

Das oito empresas entrevistadas no estudo de casos múltiplos, cinco forneceram como informações adicionais, documentos que complementam a informação das entrevistas.

O Quadro 01 apresenta as principais características das empresas pesquisadas, data da entrevista, tempo de uso do software e o nome dos responsáveis. O Quadro 02 apresenta as informações relevantes dos entrevistados, identificando-os como sujeito (S) para facilitar a associação das respectivas falas, na análise de conteúdo. Consta também no Quadro 02 a informação relacionada ao fornecimento de documentos pela empresa.

Quadro 01: Empresas pesquisadas nos casos múltiplos

Empresa	Responsável	Data da entrevista	Tempo de uso do software	Principais características da empresa	Entrevistado
Candeia Fundição e Usinagem	Sirnei Kach	25/09/2013	2 anos	Ferro Fundido. Fundição em areia. Agrícola	Andreas Diesel Sirnei Kach
Amsted Maxion Fund. Equip. S/A	Marcelo Belchior	22/10/2013	4 anos	Aço. Fundição em areia. Ferroviário	Adam Tomaszewski Marcelo Belchior
Br Metals Fundições Ltda.	Ricardo Silva	25/10/2013	6 anos	Ferro Fundido. Fundição em areia. Agrícola	Ricardo Silva
Voith Hydro	Antônio Campanholi	13/12/2013	19 anos	Aço e Ferro Fundido. Fundição em areia. Geração de energia.	José Marciano
		14/02/2014			Antônio Campanholi
Sada Siderurgia	Roberto Rocha	23/01/2014	8 anos	Ferro Fundido. Fundição em areia. Automotivo	Roberto Rocha
Cercena S/A Indústria Metalúrgica	Fernando Nadaletti	29/02/2014	1,5 anos	Ferro Fundido. Fundição em areia. Agrícola e Automotivo.	Fernando Nadaletti
					Eduardo Forneck
					Tiago Stefainski
					João Braga
Nematik Alumínio do Brasil	Halesther Pinto	24/02/2014	10 anos	Alumínio. Fundição em coquilha e alta pressão. Automotivo.	Abimael Fiau
					Halesther Pinto Túlio Silva
Andreas Stihl	George Hamilton	21/02/2014	6 anos	Alumínio. Fundição em coquilha e alta pressão. Cativa	George Hamilton

Quadro 02: Caracterização dos entrevistados.

Empresa	Denominação	Formação / Função na empresa	Experiência em fundição	Documentos
Andreas Diesel	S1	Administrador de empresas / Chefe da qualidade	10 anos	SIM
Sirnei Kach	S2	Engenheiro de produção / Chefe da engenharia	20 anos	
Adam Tomaszewski	S3	Engenheiro mecânico / Responsável pela simulação	14 anos	NÃO
Marcelo Belchior	S4	Mestrando em engenharia / Chefe da melhoria contínua	12 anos	
Ricardo Silva	S5	Engenheiro mecânico / Chefe da engenharia	14 anos	NÃO
José Marciano	S6	Tecnólogo em processo / Responsável pela simulação	30 anos	SIM
Antônio Campanholi	S7	Engenheiro / Chefe da engenharia	34 anos	
Roberto Rocha	S8	Tecnólogo / Chefe da engenharia	20 anos	SIM
Fernando Nadaletti	S9	Administrador de empresas / Assessor da diretoria	3 anos	SIM
Eduardo Forneck	S10	Estudante de engenharia / Responsável pela simulação	3 anos	
Tiago Stefainski	S11	Engenheiro / Responsável pela melhoria contínua	5 anos	
João Braga	S12	Tecnólogo / Supervisor da engenharia	29 anos	
Abimael Fiau	S13	Engenheiro mecânico / Engenharia de produto	10 anos	
Halesther Pinto	S14	Estudante de engenharia / Responsável pela simulação	7 anos	SIM
Túlio Silva	S15	Estudante de engenharia / Responsável pela simulação	4 anos	
George Hamilton	S16	Engenheiro metalurgista / Responsável pela simulação	10 anos	NÃO

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados: (a) os resultados; (b) análises da survey e do estudo de casos múltiplos e (c) uma relação com o referencial pesquisado.

4.1 Survey

Foram respondidos 57 questionários e os dados foram classificados em três categorias:

- Usuário: informações tais como a idade, formação, tempo na empresa, experiência em fundição e tempo que utiliza o software;
- Aplicação: foram destacados temas como o objetivo do uso, o setor no qual está localizado o software, tempo médio de projeto e materiais simulados;
- Benefícios: foram pesquisados dois itens: (1) a satisfação da diretoria da empresa quanto aos resultados e (2) os ganhos de tempo de lançamento de novos produtos.

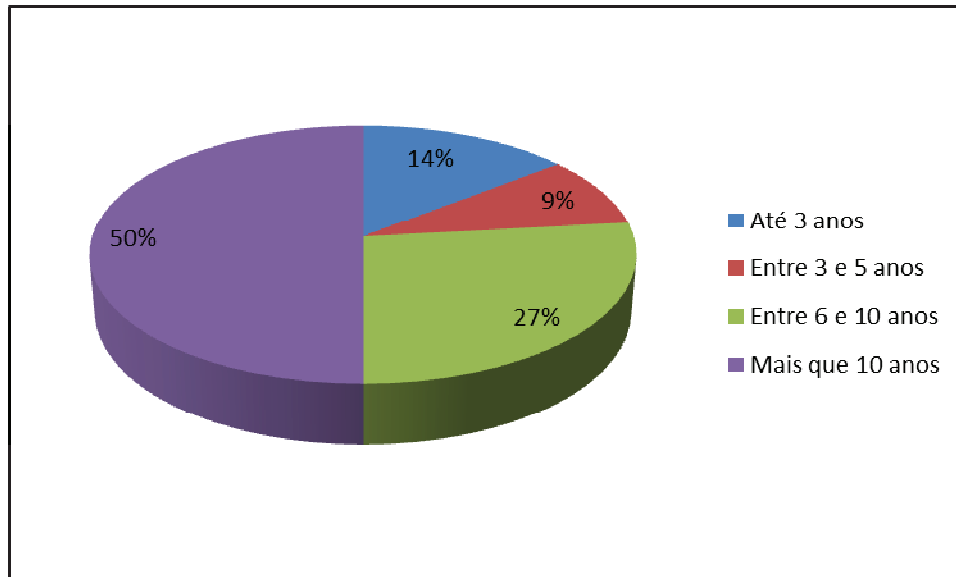
A seguir são apresentados os resultados relevantes para a pesquisa. Associou-se os mesmos ao objetivo e às questões de pesquisa, a fim de que possam ser respondidos os aspectos relevantes da mesma, tendo em vista o objetivo de explorar o conhecimento da competitividade da empresa que aplica o software de simulação numérica.

Quando perguntado sobre o tempo de experiência de trabalho na área de fundição, 77% disseram possuir mais de seis anos de experiência em fundição, conforme ilustra a Figura 18. Nota-se que um percentual significativo (50%) possui mais de dez e 14% menos de três anos de experiência trabalhando na área de fundição de metais.

Observa-se que a experiência de trabalho do profissional, na área de fundição, é importante, pois auxilia na compreensão dos resultados do software e conseqüentemente na tomada de decisão. Conforme Vieira (2006) a simulação é uma aliada importante na tomada de decisões, no caso das empresas de fundição de metais, no desenvolvimento do melhor projeto e processo para que não sejam necessários muitos protótipos, uma quantidade mínima já é suficiente para que se tenha uma peça aprovada (MENNE et al., 2007).

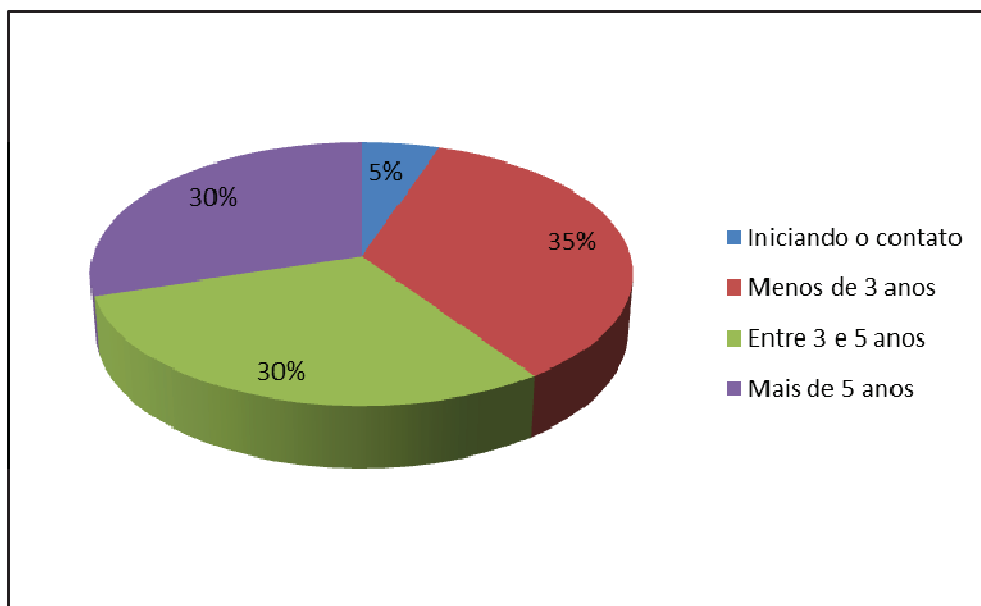
O profissional apoiando a tomada de decisão é importante, da mesma forma que o domínio das variáveis e parâmetros do processo de fundição permite às empresas extrair mais vantagens do uso da simulação, conforme Lima, Palma e Sales (2011).

Figura 18: Anos de experiência do usuário trabalhando em fundição



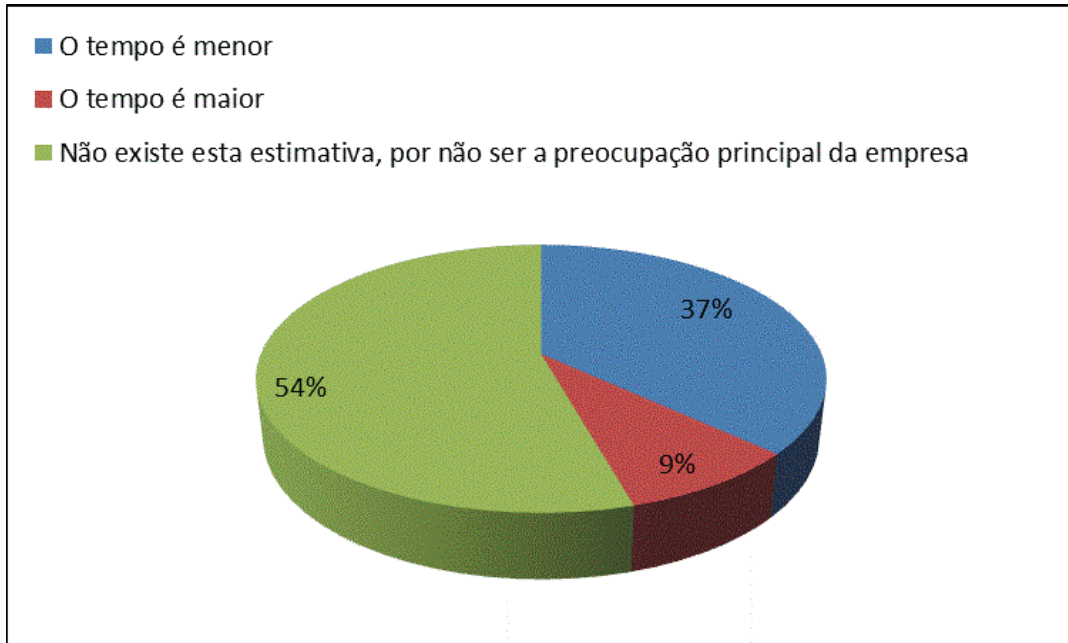
A Figura 19 ilustra o resultado do tempo de experiência no uso do software, com o objetivo de conhecer se o usuário do MAGMA⁵ possuía experiência e condição para apontar os benefícios da aplicação da simulação. Nota-se que 30% dos entrevistados afirmaram possuir entre três e cinco anos de experiência no uso da tecnologia, tempo em média, bom para que se tenha um comparativo do antes e depois do uso da tecnologia de SNPFM. O uso por menos de três anos (35% das respostas) pode dificultar a análise comparativa dos resultados com simulação, assim como no caso das empresas que utilizam por mais do que cinco anos (30% das respostas), podem não ter mais registro de projetos sem simulação.

Figura 19: Tempo de experiência no uso do software



A Figura 20 ilustra o resultado da pergunta que solicitava ao usuário que fizesse uma análise comparativa entre um projeto que tenha sido simulado com outra peça similar, que não tenha sido simulada com relação ao tempo de desenvolvimento.

Figura 20: Tempo de desenvolvimento de um projeto



Nota-se pela análise da Figura 20 que a maioria (54% dos usuários) disse que esta não é a preocupação principal da empresa, portanto não conclusiva, porém um percentual significativo (37% dos usuários) afirmou que o tempo é menor quando se aplica a tecnologia de SNPFM. Um número menor (9% dos usuários) afirmou que o tempo pode ser maior.

A relação do tempo é relativa à execução completa do projeto, ou seja, a pergunta tinha por objetivo entender se usar a simulação ou não, interferiria no tempo total de projeto, até que fosse entregue ao cliente uma peça em boas condições de qualidade. Caso a produção das primeiras peças – lote piloto ou peça para teste – sejam aprovadas com o nível de qualidade requerido, não haverá necessidade de produzir um novo lote para ajustes.

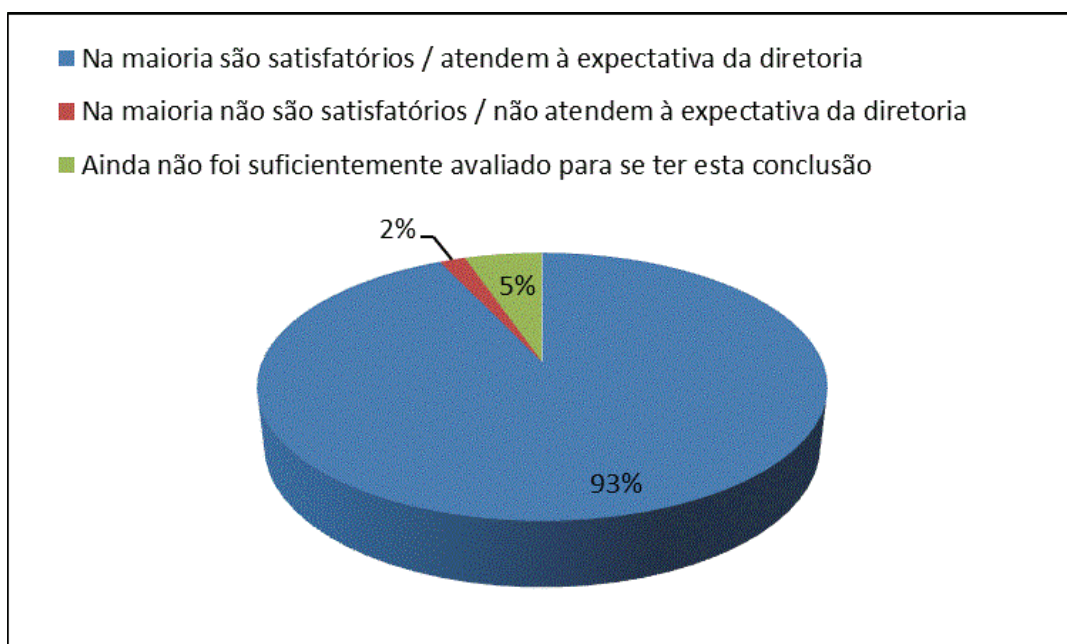
No caso do primeiro lote produzido não ser aprovado, demandará uma alteração do projeto, processo ou ferramental. O tempo do projeto será maior, pois a empresa levará mais tempo para alterar um ferramental de fundição e testar na prática, do que levaria executando as simulações e tomando as decisões virtualmente, antes de produzir a peça com segurança.

Uma estratificação da pergunta de comparação do produto que não tenha sido simulado com um produto similar que tenha sido simulado, solicitando-se que fosse apontado o que melhor representa no tempo de desenvolvimento do projeto, nota-se que das respostas que apontavam para um tempo menor (37% dos que responderam) o que mais apareceram foram percentuais de 20% e 50%, o que se aproxima com o estudo publicado por Ravi (2010) que aponta para uma redução média de 30% no tempo de desenvolvimento de um projeto.

A diferença está associada ao universo das empresas pesquisadas, ou seja, são diversos os processos, as ligas metálicas e a dimensão das peças, isso interfere a relação de ganhos no tempo de execução do projeto. Uma empresa que fabrica um produto seriado, em liga de alumínio, cujo peso seja de alguns quilogramas, tem uma relação no percentual de ganho no tempo de desenvolvimento diferente de outra empresa que fabrica uma peça não seriada, de uma liga de aço com dezenas de toneladas, por exemplo.

Foi também perguntado na Survey em relação a uma avaliação dos resultados do uso do software, o que melhor poderia ser dito com relação à aplicação da tecnologia de SNPFM, do ponto de vista da direção da empresa. Os resultados do uso do software MAGMA⁵ nas empresas de fundição são satisfatórios e atendem à expectativa da diretoria, para 93% das pessoas que responderam à Survey, conforme ilustra a Figura 21. Entende-se pela expectativa, o resultado positivo do uso da tecnologia de simulação, no dia a dia da empresa.

Figura 21: Avaliação dos resultados do uso do software



Uma maior investigação torna-se necessária a fim de compreender não só esta relação de ganho mencionada, bastante distinta entre os usuários que dizem que o tempo pode ser menor, variando de 10% a 80% de ganho, como também o fato de 54% dos usuários terem respondido que não é a preocupação principal da empresa, resultado da Figura 20.

Os dados obtidos na Survey permitiram projetar o procedimento metodológico da pesquisa geral. Esta parte da pesquisa também foi relevante do ponto de vista do mapeamento do perfil dos usuários do software de simulação e contribuiu com informações importantes sobre sua aplicação e uso no dia a dia das empresas de fundição, no Brasil.

Ainda do ponto de vista da pesquisa acadêmica os dados obtidos permitiram estruturá-la de maneira a construir um estudo de casos múltiplos, com o objetivo de estudar as informações a respeito dos possíveis ganhos de competitividade, comparativamente para casos de: (a) utilização da SNPFM para metais ferrosos e não ferrosos; (b) grandes e médias empresas; (c) com diferentes tempos de uso e (d) influências da localização. Os estudos de casos múltiplos foram conduzidos de maneira a conter os seguintes vieses: observação direta, entrevistas em profundidade e análise documental.

4.2 Estudo de casos múltiplos

Analisou-se cada um dos aspectos mencionados observando-se os pontos relevantes mediante o conhecimento trazido pela survey para esta pesquisa, ou seja, os destaques para a importância no uso da tecnologia de SNPFM foi ampliado nesta análise exploratória com dados qualitativos, apresentados nas entrevistas..

A análise de cada um dos quadros tem importância relevante para esta pesquisa, pois avaliam de forma criteriosa, os principais pontos destacados pelos entrevistados no estudo de casos múltiplos, com base na experiência e na realidade de cada uma das oito empresas pesquisadas e dos dezesseis profissionais que responderam às questões nas entrevistas. A análise dos quadros foi complementada, por meio do cruzamento das informações com as referências contidas nesta pesquisa e experiência de outros pesquisadores que trataram da vantagem competitiva com o uso da tecnologia de SNPFM.

Quadro 03: Uso da tecnologia de SNPFM

SUJEITO	CONTEÚDO
S1	Para simular peças em desenvolvimento e correntes de produção (50% para cada lado), construção da ferramenta e fichas de processo, auxiliar em ganhos de rendimento metálico e melhorias relacionadas ao refugo de produção.
S2	Na análise do fundido, no projeto a facilitação da fabricação das amostras, na análise do comportamento do produto em relação às falhas e definição do processo. Cerca de 90% do uso é para produtos novos e apenas 10% para otimização de produção.
S3	Desenvolvimento de novos produtos, redução de custo e melhoria de processo.
S4	Porque economiza tempo e recursos, tem boa assertividade. Permite desenvolver em menos tempo, de forma virtual, aproveitando melhor os recursos, evitando o processo de tentativa e erro, para aprimorar os processos, e fundidos já existentes.
S5	Em pesquisa e desenvolvimento e tem um efeito bastante produtivo para simulação inicial e elaboração de projetos, e especificação e projeto de ferramental em terceirizadas que fornecem ferramental completo de fundição.
S6	Temos três objetivos: produção, fazemos todo o projeto do fundido e este projeto é validado pela simulação, a partir daí se inicia a fabricação do ferramental ou do modelo, principalmente as peças de maior responsabilidade; em reengenharia quando se faz toda a reanálise dos parâmetros, adequação do ferramental de peças correntes com problemas de processo; no desenvolvimento, antes de iniciar a fabricação do produto.
S7	Não é exclusivo para um único uso, mas é aplicado no cálculo do sistema de canais de enchimento e massalotes para alimentação, no desenvolvimento dos produtos novos, com possível alteração do dimensional da peça. São bem variados os tipos de produtos, temos pás de rotores de 1000 a 2000 Kg até <i>Hubs</i> de 60000 Kg ou camisa de cilindro com 75 toneladas.
S8	Para o desenvolvimento e melhoria de produtos correntes em produção. Produtos novos 70% e correntes de produção 30%.
S9	As decisões passaram a ser tomadas com base na simulação, e não no “achômetro”. Antes da simulação uma ferramenta de fundição chegava a ser modificada até 20 vezes, com a simulação isso não é mais do que 1 a 2 vezes. Não tenho dúvida de que o tempo gasto com a SNPFM é recuperado produzindo logo uma peça boa.
S10	Primeiramente se tinha como objetivo utilizar a tecnologia para encontrar problemas, ou seja, defeitos de fundição tais como porosidades e bolhas. Com o tempo nós já conseguimos atacar, até mesmo com mais experiência, a rentabilidade do item, analisando os processos e averiguando o que pode ser melhorado.
S11	O principal objetivo da simulação é o desenvolvimento dos itens novos e alguma aplicação de melhoria dentro da fábrica visando o aumento de rendimento metálico, o uso de luvas e filtros.
S12	Na minha atividade identifica-se o potencial de melhoria, analisam-se junto ao pessoal de custo a possibilidade de uso de uma nova situação para: filtros, luvas e outros componentes; e mediante isso se faz um projeto de melhoria.
S13	Em 2006 era utilizada com o objetivo de melhorar a qualidade do produto, a reduzir refugo, ou seja, defeitos na produção, foco em redução de custos. De 2007 em diante nós conseguimos atingir níveis de qualidade excelentes no ferramental, e verificamos que os problemas da fábrica eram somente as variáveis naturais do dia a dia do processo de fundição. O nosso nível de refugo com um ferramental bem definido é da ordem de 10.000 ppm, no passado este número era da ordem de 50.000 a 60.000 ppm, sem o uso da simulação para uma correta definição do ferramental de fundição.
S14	Utiliza-se a tecnologia para desenvolver produto e para melhoria daqueles em produção que não foram desenvolvidos com esta tecnologia. Ou seja, o objetivo é que todos os produtos tenham passado pela simulação. Atualmente aproximadamente 80% do tempo dedicado a produtos novos e 20% para melhoria de produtos correntes de produção.
S15	Desenvolvimento de produto e melhoria contínua, para algum desvio da produção. Atualmente aproximadamente 50% do tempo dedicado a produtos novos e 50% para melhoria de produtos correntes de produção.
S16	Utilizamos com dois objetivos distintos: desenvolvimento do produto, para desenvolver o ferramental, avaliar o melhor sistema de canais, a melhor refrigeração e estimar os defeitos antes do ferramental ser produzido; resolver os problemas antigos, compreender as dificuldades

Nota-se na análise do Quadro 03 pelos relatos dos entrevistados que o uso da tecnologia de SNPFM tem o objetivo de: (a) implantação de melhorias de processo; (b) ganhos com rendimento metálico e (c) diminuição do refugo; conforme as citações de S1, S3, S6 e S8. Cada empresa adota a sua própria conduta e elege as peças que irá simular.

As empresas pesquisadas pertencem a mercados variados, produzem peças fundidas por processos de fabricação diferentes. Conforme descrito no Quadro 01 observa-se a multiplicidade de aplicações da tecnologia de SNPFM das empresas pesquisadas. Pode-se observar, por exemplo, pelo relato do S7 que as peças fabricadas por eles possuem peso que chega a 75 toneladas de metal. Esta peça não é do tipo que a empresa tenha que produzir várias por dia, neste caso a empresa faz uso da simulação para cálculo do sistema de canais de enchimento e massalotes, com o objetivo de produzir com qualidade na primeira tentativa. Neste caso a preocupação principal é com a qualidade da peça, mais do que com o rendimento metálico, por se tratar de um produto de grandes dimensões.

O S13 relatou que a aplicação da tecnologia de SNPFM foi útil para melhorar a qualidade do produto e para reduzir refugo. São citados números, tais como refugo antes da adoção do uso da ferramenta de simulação que atingiam 50.000 a 60.000 ppm (peças por milhão) e após aplicar a simulação, esse índice foi reduzido para 10.000 ppm. Além de redução do refugo e da melhoria da qualidade, nota-se o uso em peças com alto volume de produção, para melhorar os custos de fabricação.

Todas as empresas pesquisadas adquiriram a tecnologia de SNPFM quando já possuíam o processo produtivo em operação. Com base nos conceitos teóricos e na experiência das pessoas, foram desenvolvidas as primeiras disposições dos canais e massalotes ou outros recursos dos projetos para fabricação da peça. Quando a empresa adquiriu a tecnologia de SNPFM, pôde revisar os projetos existentes com o objetivo de: (a) melhorar a qualidade e (b) diminuir os custos de produção, conforme relatou o S16, quando disse que eles utilizam para resolver os problemas antigos. O S13 relatou que a empresa tem conseguido melhorar os índices de produtividade com o uso da tecnologia de SNPFM.

O S9 citou na entrevista que as decisões passaram a ser tomadas com base na simulação, e não mais no método da “tentativa e erro”, como ele mesmo chama de “achômetro”, sem a certeza de que a peça será produzida com qualidade. A modificação do

modelo de fundição é um fator que reflete nos custos e no tempo total da produção da peça. Ainda o S9 relatou que antes da simulação uma ferramenta de fundição chegava a ser modificada até vinte vezes; com a simulação isso não é mais do que uma ou duas vezes, o que permite a diminuição dos custos e menores tempos de fabricação.

Observam-se relatos de que o uso da tecnologia de SNPFM pode contribuir para a melhoria da qualidade das peças em produção. O percentual de uso da simulação em peças de produção varia de acordo com os objetivos de cada empresa, entre 10%, 20%, 30% e 50% conforme destacaram S2, S14, S8 e S15 respectivamente em seus relatos na entrevista. O S16 relatou que os objetivos são: (a) estimar os defeitos antes que ferramental seja produzido; (b) evitar os custos de fabricação e (c) impossibilidade de ajustes na etapa posterior. O S10 citou que à medida que a empresa passou a ter mais experiência no uso da simulação eles obtiveram ganhos com a melhoria da lucratividade no produto fundido.

A dedicação do uso da tecnologia de SNPFM para peças correntes de produção ou novas, depende da realidade de cada empresa. Não há como definir, em boa parte dos relatos, quanto ocorreu uma mudança, caso a empresa tenha iniciado o uso em peças de produção e passado a simular peças novas, ou o contrário, tenha iniciado o uso em peças novas e passou a simular peças de produção. O S13 relatou que a empresa onde ele trabalha fez uso por um ano com o objetivo de: (a) melhorar a qualidade do produto e (b) reduzir refugo. Atualmente a empresa utiliza a simulação para a definição do projeto antes de iniciar a produção.

O S6 relatou diferentes aplicações da tecnologia de SNPFM. Ele informou que: (a) utiliza para validar o projeto; (b) para iniciar a fabricação do ferramental de fundição nas peças de maior responsabilidade técnica; (c) em reengenharia, quando se faz toda a reanálise dos parâmetros e adequação do ferramental de peças correntes com problemas. Prahalad e Hamel (2005) descrevem como fator importante a reengenharia dos processos, para erradicar o trabalho desnecessário, e fazer com que todos os processos da empresa apontem na direção da satisfação do cliente, redução de tempo do ciclo e qualidade total.

Observa-se que o uso da tecnologia de SNPFM tem relação com o processo da empresa, a experiência dos profissionais e o tempo de uso do software de simulação. Os ganhos obtidos estão relacionados com o foco da empresa. Determinados relatos descrevem o uso em peças de produção e outros para produtos novos.

Quadro 04: Tempo para desenvolvimento de produto

SUJEITO	CONTEÚDO
S1	Com a tecnologia é possível prever a falha e simular várias versões até que se chegue numa condição ideal. Investe-se tempo simulando, mas no projeto como um todo existe redução de 25% a 30% do tempo.
S2	Com certeza existe uma influência positiva no tempo, há necessidade de se planejar melhor o projeto de produto e processo, coletar dados e informações. O tempo ganho é um diferencial, pois se consegue antecipar algumas ações antes de receber a ferramenta para teste.
S3	Posso assegurar que o tempo médio de desenvolvimento sem aplicar a simulação levava algo em torno de 90 dias a mais. Outro aspecto é a quantidade de peças que deveria ser fundida antes da simulação, três vezes em média; com simulação nós fundimos uma, ou no máximo duas. Redução do tempo de projeto entre 10 e 20%.
S5	De 90 a 120 dias para nosso tipo de peça.
S6	A tecnologia traz certos benefícios em velocidade de cálculo, em velocidade de determinação de sistema, que eu particularmente não me lembraria de como fazer o cálculo completo de um processo de fundição sem a utilização da tecnologia. Dá pra fazer, mas o tempo de projeto com certeza seria mais do que o dobro.
S7	Aproximadamente quatro semanas para executar o projeto do fundido, executar os ajustes e deixar tudo pronto para a produção do modelo. Após, acompanhamos a fabricação do modelo de fundição, a moldagem da peça, a fabricação do lote piloto e os testes para aprovação. Entre as primeiras simulações e as peças já produzidas e inspecionadas para envio ao cliente, em torno de 3 a 4 meses. O ganho de tempo é um dos fatores positivos, mas temos outros ganhos.
S8	Antes do uso da simulação levávamos muito mais tempo, quase o dobro, para desenvolver um projeto. Hoje em dia é muito mais fácil, conseguimos fazer a simulação e definir os ferramentais, as figuras na placa, com muito menos tempo. Os ganhos são enormes, não precisamos fazer mais tantas tentativas na prática, resolvemos tudo na simulação.
S9	Nós temos um exemplo recente, de uma peça complexa. Nós aplicamos as simulações, desde as iniciais, somente de solidificação natural, até as versões finais. Temos a chance de deixar processando os cálculos à noite e analisar no começo do dia. Comparando com o desenvolvimento da peça sem a simulação, neste caso, ganhamos mais de uma semana no tempo de desenvolvimento.
S10	Até que o ferramental esteja pronto na fábrica, entre duas e três semanas. A tecnologia foi um divisor, o antes e o depois são altamente perceptíveis.
S11	Tem variado bastante. Algum tempo atrás o tempo de desenvolvimento de um projeto era de 45 dias. Atualmente, com as novas exigências do cliente e demanda em alta, a empresa teve que desenvolver em no máximo quinze dias um novo projeto.
S12	Hoje em dia tudo isso é feito no campo virtual, com base na simulação e nos resultados da mesma, isso nos permite um ganho de tempo de quase 30 dias, em média. Com a simulação esta informação chega ao cliente em menos de 7 dias e sem a simulação, tendo que alterar ferramental (com todos os problemas de prazo e falhas nos ajustes que podem ocorrer), o prazo era sempre superior a 30 dias, chegando a 40 dias em alguns casos.
S13	Paramos de fazer uso da metodologia da “tentativa e erro”, hoje em dia somos muitos mais assertivos.
S15	A parte virtual, algo em torno de dois meses, em média, e em torno de quatro meses até a construção do ferramental.
S16	Um produto leva em torno de 1,5 a 2 anos. E dentro desta etapa de desenvolvimento do produto, é subdividido em algumas etapas, onde de fato a simulação está inserida. O desenvolvimento, a piloto, onde levamos de três semanas a um mês para poder avaliar, simular e propor melhorias.

A análise do Quadro 04 permitiu-se verificar inicialmente que a redução do tempo de desenvolvimento de produto quando se usa a tecnologia de SNPFM, gira em torno de 10% a 20%, conforme destacou o S3; até 25% a 30% pelo que foi relatado pelo S1. O S9 em sua fala relatou que com a simulação a empresa recentemente ganhou em uma peça, mais de uma semana no tempo de desenvolvimento. O S7 relatou que o ganho de tempo é um dos fatores positivos para a empresa, mas eles têm conseguido outros ganhos, não descritos por ele.

Outro ponto que se observa é a quantidade de peças necessárias a serem fundidas, para teste, até que se obtenha uma peça aprovada. Para Ravi (2008) os testes em produção não só elevam o custo, como também desviam recursos de produção regular. O S3 destaca que sem o uso da simulação na etapa de projeto, são necessárias três peças pelo menos até que se obtenha uma peça boa, já quando se aplica a simulação, produz-se uma ou no máximo duas, diminuindo os custos de fabricação de amostras e tempo final para entrega da peça no cliente.

Nota-se pelo que foi descrito por S10 que a tecnologia de SNPFM foi um divisor, o antes e o depois são altamente perceptíveis. A fala de S13 afirma que a empresa parou de trabalhar na “tentativa e erro” se tornando mais assertiva. Para Mendes, Visconti e Rondet (1993), o desenvolvimento de uma peça fundida por tentativa e erro é lento e apresenta um custo elevado devido às diversas mudanças necessárias no ferramental de fundição. Para S13 o uso da tecnologia de SNPFM contribuiu como um diferencial competitivo para a empresa.

Ganhar tempo no desenvolvimento e entregar mais rápido as primeiras peças para o cliente permite à empresa se diferenciar dos seus concorrentes, conforme Prahalad e Hamel (2005), a empresa precisa ser capaz de ser diferente. Nota-se em algumas descrições sobre as vantagens do uso da tecnologia de SNPFM que é possível transformar a rotina da “tentativa e erro” para uma análise virtual mais assertiva, o que auxilia a empresa no desenvolvimento, conforme relatou o S8, que o tempo para desenvolver um projeto com o uso da simulação é a metade do tempo que se consumia antes da aquisição do software.

O S12 relatou que o uso da simulação para análise de projeto e processo permitiu um ganho de tempo de quase trinta dias em média. As análises são feitas e as decisões são tomadas no campo virtual, com base na simulação e isso permite a eles um ganho de tempo. Com a simulação, a informação pode ser enviada para o cliente em menos de sete dias, o que sem a simulação só era possível em quarenta dias.

Quadro 05: Resultados obtidos com o uso da tecnologia de SNPFM

SUJEITO	CONTEÚDO
S1	Experiência do pessoal, confiabilidade do cliente, redução do tempo do projeto, competitividade, fornecer itens mais complexos, ganho em custos (reduz custos com matéria-prima e insumos), imagem no cliente e dinheiro a mais no bolso, confiabilidade.
S2	Antecipar possíveis dificuldades na produção e tornar mais rápida a solução dos problemas.
S3	Em torno de 30% a 35% de redução de custo, pois quantidade de peças fundidas para aprovação é menor, conseqüente uso menor de insumos, redução de ensaios de qualidade.
S4	A questão passa pela economia de recursos, redução de tempo de desenvolvimento, pelo uso em si, corrigir problemas decorrentes.
S5	Alguns clientes ficam surpresos com a gama de resultados que podem ser coletados e prever antes mesmo de confeccionar o ferramental de fundição.
S6	Já tivemos caso, de peça que produzimos com base em outra simular, sem fazer uso da simulação, na hora de inspecionar a peça verificamos que a mesma apresentou defeitos que poderiam ter sido evitados se tivéssemos feito simulação durante o projeto. Nos casos onde não fizemos simulação porque o tempo não permitia, tivemos sérios problemas.
S7	É possível ganhar mais de 50% no tempo total. O que já foi feito que comprove o que estou falando é a nossa experiência de refazer determinados projetos que tenham sido desenvolvidos anteriormente sem o uso do simulador.
S8	Tivemos um caso onde reduzimos o refugo de 15% para 1%. Em outro caso nós tivemos a oportunidade de fazer uma análise crítica e informar ao cliente quais deveriam ser as necessidades de alteração da peça que ele estava nos solicitando.
S9	Hoje em dia nós mostramos para os clientes as simulações, trazemos eles na sala da engenharia e analisamos junto com eles as simulações; faz parte da nossa rotina com o cliente, quando recebemos as visitas deles. Temos com isso observado que ao invés deles solicitarem, por exemplo, o ensaio de Raios-X, o que eles nos pedem são as simulações, para aprovação das peças. Eles já entendem que as empresas que possuem simulação geram menos problemas para eles.
S10	Inicialmente em relação à sanidade da peça e também a rentabilidade da peça. Atualmente nós conseguimos alterar o peso da árvore (sistema de canais + massalotes) diminuindo assim o peso e ganhando em rendimento metálico.
S11	A empresa conseguiu encurtar em 1/3 o tempo de desenvolvimento de um novo item com o uso da simulação numérica do processo de fundição.
S12	Nós temos conseguido melhorar algo em torno de 3% no rendimento metálico, já nas peças antigas os ganhos são maiores, da ordem de 12%, para aquelas peças que quando tinham sido inicialmente desenvolvidas não utilizamos a simulação.
S13	Em novos produtos, porque a empresa dá menos trabalhos ao cliente para a validação, a minha nota fica mais alta junto ao cliente. Eu fico mais competitivo.
S14	Bem menos problemas, tempo de <i>setup</i> menor, número de menor de lote de amostra. Aí se tem vantagem no prazo final de entrega do produto
S15	O tempo pode até ser o mesmo, mas a qualidade do produto nos primeiros lotes de amostras é que a grande diferença. Acaba que logo no primeiro teste já temos peça com qualidade. O diferencial não é só o tempo, mas sim tempo aliado à qualidade.
S16	Eu já fiz este estudo para uma peça do processo de fundição por gravidade e concluí que os custos seriam em torno de 40% maiores quando não usamos a simulação.

Por meio da análise do Quadro 05 é possível conhecer os resultados percebidos pelas empresas com o uso da tecnologia de SNPFM. O S16 disse em sua fala que fez um estudo

para uma peça do processo de fundição por gravidade e concluiu que os custos seriam em torno de 40% maiores quando eles não usavam a simulação, porque a empresa perdia no tempo de desenvolvimento e aumentava os custos de fabricação.

Para Alves (2009) uma das maneiras mais efetivas de diminuir o impacto do custo do metal na peça é por meio do aumento do rendimento metálico, que é a relação entre o peso líquido da peça e o peso bruto ou total de metal para produzi-la. Segundo o S12 a empresa já conseguiu melhorar em 12% no rendimento metálico, para peças de produção inicialmente desenvolvidas sem o uso da tecnologia de SNPFM.

A redução em torno de 30% a 35% nos custos, no relato do S3, justifica-se por: (a) menor quantidade de peças fundidas para aprovação; (b) menor consumo de insumos e (c) redução de ensaios de qualidade. Isso se assemelha ao relato de S4, que comentou sobre as vantagens da tecnologia de SNPFM, sendo um ponto importante, a economia de recursos e redução no tempo de desenvolvimento. Segundo Porter (2009), algumas empresas são capazes de obter maior aproveitamento dos insumos do que outras, pois eliminam o desperdício de esforços, quando adotam tecnologias mais avançadas. Analisando o comentário de S11 sobre a empresa ter conseguido reduzir para um terço do tempo total de desenvolvimento de uma nova peça, reforça a questão do ganho de tempo no desenvolvimento já observado em outros relatos. O relato do S14 está associado ao melhor desempenho de produção de uma peça nova. A tecnologia de SNPFM auxilia na entrega ao cliente em menor tempo, pois é menor o tempo de *setup* e o número de lotes de amostras.

Quanto à percepção do cliente da fundição em relação aos resultados nas peças que foram projetadas com o uso da tecnologia de SNPFM, o S9 relatou que os clientes ao invés de solicitarem, por exemplo, o ensaio de Raios-X, eles pedem as análises das simulações, para aprovação das peças. Segundo o S13 o uso da tecnologia de SNPFM permitiu uma facilidade na validação das peças, junto ao cliente, com isso eles se tornam mais competitivos. Para Ravi (2008) muitos clientes preferem fornecedores equipados com simulação. O S8 relatou redução do refugo de 15% para 1%, maior do que foi observado por Ravi (2010) no estudo com 215 fundições da Índia, no qual ele descreveu queda de 8,6% para 4,1%. Embora o relato do S8 descreve, neste aspecto, a redução do refugo uma única empresa, nota-se que a redução relatada por Ravi (2010) se repete nesta pesquisa. Para o S15 o diferencial do uso da

tecnologia de SNPFM não é só o tempo, pois inclui a qualidade final do produto como um fator importante.

Quadro 06: Competitividade na indústria de fundição com uso da SNPFM

SUJEITO	CONTEÚDO
S1	É obvio que depende da tecnologia de processo também, mas a simulação ajuda prever e dar uma melhor condição para o processo. É fácil de entender que a simulação ajuda inclusive, fornecer itens que outros concorrentes não estão fornecendo por não terem a tecnologia SNPFM, e quem tem esse diferencial, pode oferecer maior confiabilidade.
S2	Existe uma percepção positiva referente a nosso material (ferro fundido) que possui uma estrutura melhorada em relação à concorrência.
S3	Agilidade na entrega
S4	Os processos de melhoria contínua, e de aprimoramento de processos já existentes, com métricas, se transformam em geração de valor.
S5	O mercado está muito competitivo e um dos fatores que impactam é o tempo que gastamos para desenvolver os nossos produtos.
S6	A utilização de Simulação dá a principio a ideia de que se tem um processo controlado então a imagem da Voith perante o cliente, é de credibilidade.
S7	Temos clientes que, por exemplo, antes de finalizar a compra da peça dele, ele quer conhecer a empresa, ele visita fábrica, laboratório e engenharia. No caso da engenharia ele nem quer saber se temos simulação numérica. Alguns são tão especializados que querem ver algum resultado em específico, querem saber detalhes da simulação.
S8	Outro ponto é a redução de tempo, os prazos hoje em dia são muito curtos. Usando a simulação conseguimos atender estes prazos. Isso passa uma credibilidade muito grande para o cliente. A diminuição do refugo e a redução de custos.
S9	Quando fazemos simulações, acertamos o prazo de entrega das primeiras amostras. O cliente fica satisfeito e a empresa também, porque praticamente se elimina as paradas de máquina para ajustes de processo. Além disso, existe ganho de rendimento metálico.
S10	Eu não tenho dados percentuais contabilizados, mas posso afirmar que tem contribuído para melhoria da rentabilidade, com ganhos financeiros para a empresa.
S11	Analisando o mercado de 2012 – antes da simulação, e comparando-se com o de 2013 a empresa cresceu aproximadamente 40% na produtividade, diretamente ligado ao aumento da capacidade de desenvolvimento de novos projetos.
S12	Primeiro lugar é a competitividade, anteriormente nós havíamos desenvolvido oitenta peças diferentes, após a simulação, nós chegamos a desenvolver duzentas peças novas. Pois demorávamos entre 45 e 50 dias para desenvolver uma peça nova e agora uma semana. Sem contar o custo, pois nós conseguimos minimizar os custos ao máximo com o uso da simulação, calculando as peças novas com muito menos material no sistema de canais e massalotes.
S13	Não fazer uso da simulação numérica seria desastroso. Na realidade da Nematik, que fornece para as cinco maiores montadoras do país (Ford, GM, Volkswagen, Peugeot e Fiat), não poderia arriscar a fabricação de um cabeçote sem simulação; ou gastar USD 500 mil em um conjunto de ferramenta sem simulação.
S14	Com certeza a empresa pode entregar um produto melhor. O impacto mesmo é no custo final, é muito menor quando se aplica a simulação no projeto.
S16	Além da redução de refugo, a simulação consegue ser uma ferramenta para se visualizar a melhor forma para se reduzir o ciclo térmico do ferramental, das máquinas, quer seja pela redução de massa sem alterar a qualidade do produto, quer seja pela opção por um produto mais eficiente. Hoje em dia utilizamos a simulação para avaliar as propostas de melhoria de produtividade.

A análise do Quadro 06 permite observar o que as empresas relataram sobre a aplicação os ganhos de competitividade. Segundo Porter (2009) as organizações de hoje devem competir para criar valor, para ser melhor, para ser única.

A agilidade na entrega, apontada pelo S3 é similar ao que descreve o S9, o qual relatou que quando eles fazem as simulações, acertam os prazos, há como apontar com mais precisão quando eles podem entregar as primeiras amostras.

O S5 destacou que o mercado está mais competitivo e um dos fatores observados pelos clientes é o tempo de desenvolvimento dos projetos e entrega dos produtos. Na descrição de S1, a simulação ajudou a fornecer peças que outros concorrentes não forneciam por não dispor da tecnologia SNPFM, tornando-se um diferencial competitivo. A empresa pode oferecer maior confiabilidade aos clientes, fornecendo peças com melhor qualidade e menores custos. O S14 reforçou que o uso da tecnologia de SNPFM, pode ajudar a empresa entregar um produto melhor, com menor custo final.

A agilidade no desenvolvimento, relatado pelo S12, reforça a ideia que Porter (2009) descreve como vantagem para minimizar a influencia e a ameaça de substituição em muitos setores. Porter (2009) descreve que a fabricação baseada em computador torna o processo mais rápido, mais fácil e mais barato, podendo ser incorporado aos produtos. O S12 em sua fala destacou que eles demoravam entre 45 a 50 dias para desenvolver uma peça nova e atualmente com o uso da tecnologia de SNPFM levam uma semana. Ele mencionou ainda que antes da aquisição da simulação a empresa desenvolvia em torno de oitenta peças novas por ano e após a implantação da simulação, passaram a desenvolver duzentas peças por ano.

Os ganhos de competitividade observados pelo S16 em seu relato apontam o uso da simulação para avaliação das propostas de melhoria de produtividade. O S11 disse que a empresa que ele trabalha aumentou em 40% a produtividade após a implantação da tecnologia de SNPFM. O S8 destacou o uso da simulação para diminuição do refugo e redução de custos.

De maneira mais enfática, o S13 afirmou que não fazer uso da simulação numérica seria “desastroso” na realidade da empresa em que ele trabalha, eles fornecem para as cinco maiores montadoras do país e não poderiam arriscar a fabricação de uma peça sem simulação.

Quadro 07: Motivos para implantar a tecnologia de SNPFM

SUJEITO	CONTEÚDO
S1	Reduzir custos de processo seja no desenvolvimento de novos produtos ou naqueles que já são correntes de produção, para reduzir índices de refugo. Melhorar qualidade.
S2	<i>Feedback</i> do processo ao se produzir a amostra, são suportes indiretos da engenharia na fábrica: moldagem, forno, laboratório, vazão, etc.
S3	Além da redução de custo, do tempo de desenvolvimento e aumento da confiabilidade, sito a imagem frente ao cliente e a obtenção de um processo mais robusto. Somos competitivos porque somos ágeis.
S4	Diminuição do tempo de desenvolvimento, diminuição dos recursos aplicados em desenvolvimento porque elimina os processos de tentativa e erro.
S5	Para ser mais competitiva no mercado de fundidos. Confiabilidade do processo. Maior rendimento metálico.
S6	No ano passado um produto que produzimos há quase trinta anos de maneira semelhante, começou a apresentar algumas indicações que o processo poderia ser melhorado via simulação. Detectamos melhorias que poderiam ser feitas principalmente no sistema de canal. Fizemos melhorias e o resultado foi muito bom, conseguimos o produto um pouco melhor que o que fazíamos. A simulação numérica é utilizada para indicar a melhor geometria, compensando com o menor custo possível do sobremetal e da usinagem, posterior.
S7	A fundição é um processo com muitas variáveis. Tendo possibilidade de simular antes e compreender estas variáveis nos ajuda muito no desenvolvimento do projeto em si. Um exemplo disso é a simulação da variação dimensional. Eu não consigo imaginar uma engenharia de fundição desenvolvendo um projeto de uma peça fundida sem usar simulação numérica.
S8	É simples, queríamos ganhar no tempo e no custo.
S9	Tempo, em primeiro lugar. Rendimento metálico, outro ganho importante.
S10	Confiabilidade no processo. Melhoria do rendimento metálico é o outro item que hoje pode ser observado como uma importante vantagem da aplicação da simulação.
S11	É nítido isso, é visível para quem desenvolvia antes sem o auxílio de simulação. A tecnologia veio para redução do tempo que se desprendia em uma amostra para atender as especificações.
S12	Anteriormente eram necessários entre quatro a cinco testes, hoje com a simulação, não mais do que um a dois testes. Uma queda de 50% no mínimo no número de testes, além do ganho de tempo.
S13	A empresa faz uso mundial de uma metodologia que é a NPDS (<i>Nemak Product Development System</i>), o sistema de desenvolvimento de produto Nemak, criado com base no PMBOOK (<i>Project Management Body of Knowledge</i>) do PMI (<i>Project Management Institute</i>), o qual permite gerenciar o projeto alinhado com as condições que precisamos para atender a ISO (<i>International Organization for Standardization</i>). A simulação permite anexar os “milestones” que precisamos entregar do sistema de gerenciamento de projetos do PMI em um sistema de APQP (<i>Advanced Product Quality Planning</i>).
S14	Hoje eu consigo ver que a simulação é importante porque no mínimo os problemas básicos se resolvem logo de cara. Claro que vai se refinando, melhorando e otimizando, há muita diferença entre os projetos sem simulação e os projetos atuais, já com simulação.
S15	A simulação está inserida desde a cotação, é um dos poucos serviços, digamos assim, no desenvolvimento de um produto que está desde a cotação.
S16	Redução de número de lote de amostra.

Nota-se na análise do Quadro 07 que os motivos para implantação da tecnologia de SNPFM são diversos. Os relatos de ganhos observados são: o S8, disse que a empresa queria ganhar no tempo e no custo; o S16 associa os ganhos com a redução do número de lote de amostras; o S12 destacou o ganho de 50% no número de testes.

As diferentes percepções de objetivos estão associadas às características de produção de cada empresa, tipos de mercado que atuam e experiência com a tecnologia de SNPFM. A diferença na experiência foi também observada nesta pesquisa, por meio da Survey, destacado na Figura 19: o tempo de experiência no uso do software.

Do ponto de vista da aplicação em fundição, o S7 comentou que não imagina uma engenharia de fundição desenvolvendo um projeto de uma peça fundida sem usar simulação numérica, em função dos ganhos observados por ele que possui 34 anos de experiência de trabalho na área de fundição, conforme descrito no Quadro 02.

Da mesma forma é explorado por S10 que destacou o aumento da confiabilidade no processo e aumento do rendimento metálico após aquisição e uso da tecnologia de SNPFM. O S3 relatou que eles têm conseguido ser mais competitivos porque a empresa é mais ágil. O S11 destacou que a aplicação da tecnologia de SNPFM permitiu redução do tempo para fabricação de uma amostra com qualidade, na fundição.

O S5 relatou que a tecnologia de SNPFM tem sido útil para a melhoria da competitividade, no mercado de fundidos. O S4 destacou que a simulação foi implantada para diminuição do tempo de desenvolvimento, o seu uso permitiu a redução dos recursos aplicados no desenvolvimento, porque elimina os processos de “tentativa e erro”, e permite à empresa melhorar o seu desempenho.

O S6 destaca a oportunidade de uso da tecnologia de SNPFM para: (a) indicar a melhor geometria da peça; (b) menor uso de sobremetal; (c) evitar usinagem posterior e (d) para diminuir custos de fabricação com o acabamento final. Marques (2008) recomenda que por meio da simulação, consiga-se determinar os pontos quentes de um fundido e planejar um novo projeto mais dequado. Alves (2009) indica que a utilização da tecnologia de SNPFM é uma alternativa para melhoria da confiabilidade dos processos produtivos e para obtenção de projetos mais ágeis e com menores custos.

Quadro 08: Como mensurar os resultados obtidos com o uso da simulação

SUJEITO	CONTEÚDO
S1	Conseguimos aumentar o rendimento metálico de 65% para 75%.
S2	Existe ganho, mas com certa dificuldade de ser mensurado em um primeiro momento.
S5	Eu não tenho, não fizemos banco de dados referentes a este estudo, posso citar que existe uma tendência forte do refugo estar abaixo da média quando fazemos simulação.
S6	O resultado financeiro eu não sei se conseguimos mensurar.
S7	Os ganhos financeiros, logo de início permitiram o retorno do investimento. Os ganhos vêm sendo contabilizados ano após ano, no desenvolvimento, no aprimoramento dos produtos que são fundidos. A cada projeto novo são aplicadas melhorias.
S9	Atualmente nós temos mais tempo para trabalhar num projeto, pois temos a simulação. No geral posso dizer que se ganha muito, em tempo e assertividade.
S10	Posso relatar um caso de um “cubo de roda”, com refugo de 8%. Hoje com a simulação o refugo é menor que 1%. O defeito (rechupe) é normalmente observado quando a peça já sofreu usinagem, então há uma perda ainda maior, pois agregamos outra operação à fabricação da peça.
S11	Se não fosse a simulação a empresa não teria contemplado a carteira de clientes de 2013, a empresa ficaria pendente, porque é notável a velocidade no tempo de desenvolvimento.
S12	Nós temos um projeto antigo, anterior ao uso da simulação, cujo tempo de rebarbação era de 8 minutos por peça. Nós refizemos o projeto, retirando canais e massalotes, que além de melhorar o rendimento metálico, de 65 para 72%, reduziu o tempo de rebarbação para 1,5 minutos. A produção desta peça é de 300 peças / mês. São 6,5 minutos a menos no tempo de rebarbação por peça. No rendimento metálico, nesta peça o ganho foi de 1 Kg por peça, o que significa um consumo de 300 Kg de metal a menos por mês. O que também pode ser diretamente relacionado a ganho financeiro.
S13	Hoje em dia posso dizer que o conjunto, pessoas mais as ferramentas de simulação numérica, nos deram uma vantagem (Brasil) em relação à Argentina. A PSA exige que nós aqui do Brasil estejamos sempre presentes na Argentina para os desenvolvimentos, eles reconhecem a nossa experiência e que as ferramentas que utilizamos, dentre elas a simulação, são favoráveis para o bom desenvolvimento, com qualidade e nos prazos, para os seus produtos.
S14	Temos casos de determinados produtos, que o índice de refugo caiu pela metade após aplicarmos simulação numérica. Temos um caso de melhoria no índice de refugo, por exemplo, que passamos a entregar um número maior de peças boas, o que afetou positivamente a nossa produtividade. Determinada peça tinha em produção, antes da simulação, um índice de 8% de refugo, testamos alternativas na simulação e depois de implantada na produção, caiu para menos de 1%.
S15	Há um aumento de produtividade. Ou seja, a possibilidade de fabricar no mesmo tempo um número maior de peças boas. No nosso caso mais recente, ganhamos algo em torno de 30% de produtividade, pois passamos a entregar um número maior de peças boas.
S16	Em vários produtos, vários casos, a empresa já tomou decisões com base na simulação que evitou a construção de um novo molde, ou seja, não existe a contabilização de todos os itens, de todos os moldes (caso exista eu desconheço) que comprove o retorno total do investimento.

A análise do Quadro 08 permite observar como as empresas mensuram o retorno do investimento na tecnologia de SNPFM. Nota-se que algumas empresas ainda não contabilizaram diretamente os ganhos financeiros, como relatam o S2, o S5, o S6 e o S16.

Analisando o relato do S1, nota-se que a empresa conseguiu melhorar o rendimento metálico, que, conforme Alves (2009) é a relação entre o peso líquido, somente da peça, e o peso total do fundido, somados os canais e alimentador. A melhoria observada por S1 foi de 10%. Para Ravi (2008), mesmo uma pequena melhoria no rendimento metálico pode trazer economia significativa de recursos ou maior produtividade.

O ganho com rendimento metálico, também relatado pelo S12, é de 7% (de 65% para 72%). O S12 também destacou a economia de tempo na rebarbação. Ele relatou que determinada peça, anteriormente ao uso da simulação, necessitava de um tempo de rebarbação de oito minutos por peça, e reduziram para 1,5 minutos após o desenvolvimento de um novo sistema de canais com uso da tecnologia de SNPFM. Para Ravi (2008) os programas de simulação aumentam o nível de confiança em uma fundição para peças mais complexas, que geralmente são as que contribuem com a maior margem.

Observa-se no relato do S14 que os ganhos podem também ser associados à redução de refugo. Ele citou como exemplo, uma peça de produção que antes do uso da simulação, possuía um índice de 8% de refugo e após o desenvolvimento de um novo sistema de canais e massalotes, com uso da tecnologia de SNPFM, este valor caiu para menos de 1%.

O S11 explicou que sem o uso da simulação a empresa não teria conseguido entregar a carteira de peças aos clientes no ano de 2013, para novos desenvolvimentos. Para Ravi (2008) os programas de simulação fornecem uma base científica e documentada para a garantia da qualidade e certificação. A simulação identifica os locais prováveis de defeitos internos, que podem ser mais observados por quem opera software. O tempo total do projeto pode ser reduzido à medida que por meio da simulação sejam observados e corrigidos os problemas.

Aumentar a carteira para novos desenvolvimentos, apoiado na tecnologia de SNPFM para os projetos das peças, é uma maneira de perceber o valor da tecnologia. Segundo relatou o S16, em vários produtos a empresa já tomou decisões com base na simulação que evitou a construção de um novo molde e diminuiu os custos de fabricação, gerando uma vantagem competitiva. Schmidt e Sturm (2013) descrevem que os custos podem ser reduzidos quando aplicada a simulação, na etapa de planejamento de construção do modelo, conforme ilustra a Figura 15. Ravi (2008) enfatiza que o custo total é maior quando o ferramental necessita de várias alterações até que uma condição robusta de produção seja alcançada.

Quadro 09: Geração de conhecimento com o uso da simulação

SUJEITO	CONTEÚDO
S1	Em pouco tempo os funcionários envolvidos passaram entender princípios básicos de fundição bem mais rapidamente, é um treinamento.
S2	A engenharia passou por reestruturação em termos de equipamentos e pessoas, para esta mudança de cultura e metodologia de trabalho.
S3	O profissional passa a visualizar quais são as alterações que ele fez no projeto e qual o efeito prático desta variação. Ele passa a conhecer mais. Isso agrega conhecimento nos futuros projetos que serão desenvolvidos.
S5	Damos oportunidade de aprendizado aos mais jovens, novas discussões que são levantadas pela simulação trazem conhecimento para a empresa.
S6	Dentro da fase de desenvolvimento para orientar o engenheiro de produto de como projetar um componente, de maneira mais amigável, até é este o termo que utilizamos hoje “Cast Friendly”, já bem generalizado no grupo Voith.
S7	Minha percepção acadêmica é que a tecnologia é uma ferramenta muito importante para o ensino de fundição. Formei-me tecnólogo de processos pelo SENAI e lá nós tivemos aula de simulação e fizemos uso da tecnologia. Tive uma impressão muito positiva dos meus colegas de sala. Durante as aulas teóricas era descrito tudo o que ocorria durante o enchimento e solidificação. Com o simulador é quando eles conseguiam associar o que ocorria, nós podíamos aprender com mais propriedade.
S8	As pessoas podem aumentar o conhecimento. Nosso funcionário, como está aqui desde o início, hoje faz projetos sozinhos sem problema.
S9	Com a simulação eu passo a conhecer melhor o produto, como ele se solidifica, por exemplo, o que sem a simulação eu não consigo enxergar.
S10	Quando eu comecei trabalhar em fundição eu sequer sabia o que era um filtro. A simulação me fez crescer muito, permitiu que eu compreendesse muito melhor o que é uma inoculação, qual a causa de um defeito de fundição e entender melhor além do que eu poderia ver sem a simulação. Faz com que cada dia eu aprenda mais. Cada simulação é uma nova geometria, um novo desafio que temos pela frente.
S11	Com a simulação o profissional tem a possibilidade de acompanhar passo a passo, item a item, em cada etapa e observar o que está acontecendo, onde ocorreu determinado problema, e descobrir mais facilmente a causa e atuar, alterando uma temperatura, uma inoculação ou um sistema de canais. Eu pessoalmente posso testemunhar que aumentei de maneira significativa o meu conhecimento em fundição após o uso da simulação numérica.
S12	A simulação é um aprendizado para todo mundo. Eu aprendi muito e vou continuar aprendendo. Hoje posso observar que o Eduardo foi um dos que mais aprendeu, pois ele não tinha quase nenhuma experiência quando entrou na empresa. Após iniciar o uso da simulação, ele mudou a forma de enxergar algumas coisas importantes na fundição.
S13	Em 2004 eu comecei a trabalhar com a simulação. Em 2006 comecei a intensificar o uso da simulação para melhoria de processo e redução de custo. Participei de congressos de simulação na Áustria do próprio grupo de usuários da Nematik e na Alemanha, como usuário da tecnologia.
S14	Eu consegui visualizar problemas básicos pela análise da simulação. Ou seja, estes problemas impactariam na qualidade do produto e consigo me antecipar a eles com o uso da simulação. Tem coisas que muitas vezes você aprende no dia a dia, mas que não sabe o porquê, não há uma explicação clara como se tem com a simulação.
S15	Com a simulação temos como compreender muito melhor o processo, o que agrega muito principalmente para o usuário.
S16	Na simulação você consegue visualizar isso de uma forma muito bem clara, compreender o problema e o melhor, propor duas ou três alternativas, verificar qual é a melhor solução, a mais vantajosa, antes de construir o ferramental de fundição, evitando o método de tentativa e erro.

É importante para uma empresa que procura o melhor posicionamento no mercado em relação aos concorrentes que os profissionais sejam treinados e estejam preparados para assumir desafios. Por meio da análise do Quadro 09, nota-se que diversos apontamentos da aplicação da tecnologia de SNPFM faz referência a este aspecto, tal como destaca o S1, que em pouco tempo os funcionários envolvidos passaram a entender os princípios básicos de fundição bem mais rapidamente.

O destaque do S7 é ainda mais focado na questão da aprendizagem, quando menciona que a percepção é que a tecnologia de SNPFM é uma ferramenta muito importante para o conhecimento do processo. Assim o S12, refere-se à simulação como um aprendizado para ele mesmo, que diz que aprendeu muito e vai continuar aprendendo. Ou seja, sugere-se que tanto o conhecimento básico em fundição quanto o seu aprimoramento podem ser incorporados à medida que se adota a tecnologia de SNPFM.

Observa-se pelo relato do S14 que o entendimento do processo por parte dos profissionais é mais completo, pois o mesmo passa a visualizar quais são as alterações no projeto que se relacionam com os efeitos na prática, conforme também relatou o S3. O que foi destacado pelo S11 tem relação, por exemplo, à atuação dos profissionais de fundição que podem – por meio da simulação – acompanhar o produto passo a passo, em cada etapa, e observar o que ocorre após cada modificação, isso possibilita um aprendizado constante. Ele mesmo afirmou ter aumentado o conhecimento depois que passou a usar a simulação.

A aquisição da tecnologia de SNPFM não tem como objetivo principal o aprendizado das pessoas. Acontece naturalmente e faz parte de um processo da aplicação da simulação no dia a dia da empresa. Assim sendo, poderá ampliar as vantagens competitivas da empresa.

Para Ravi (2008) a gestão do conhecimento é um benefício importante, porém difícil para contabilizar. Uma vez que o computador armazena todas as entradas e resultados de cada ensaio virtual, pode-se recuperar determinada informação para ser utilizada em novos projetos similares. Os relatórios de projetos e apresentações, também podem ser usados na formação.

O S16 reforçou em sua fala que na simulação é possível visualizar de uma forma clara, compreender o problema e propor duas ou três alternativas, antes de construir o ferramental de fundição, evitando o método de “tentativa e erro”.

Quadro 10: Grau de utilização do software de simulação

SUJEITO	CONTEÚDO
S1	Em pouco tempo vai ser impossível trabalhar sem utilizar a simulação.
S2	A demanda de itens novos é muito alta. Em torno de 70 itens em desenvolvimento geram uma demanda gigante. Com isso trabalha-se 24 horas do dia em função desta questão pontual da alta demanda de novos itens.
S3	A orientação da direção da empresa é para que 100% dos projetos sejam simulados.
S5	Não conseguimos, por uma questão do número de pessoas, aplicar simulação para todos os clientes, porém a simulação hoje já é exigência de alguns deles.
S6	Em volume nós simulamos mais produtos novos, e diria que reengenharia e desenvolvimento estão iguais, mas o tempo é maior para produtos novos. Eu diria que 80% do total. Existem ainda algumas peças, que produzimos a muitos anos, que já vem com resultados positivos que ainda não passaram por processo de simulação.
S7	Não usamos a totalidade dos recursos da tecnologia, isso para nós está claro, pois ela tem muitos outros recursos. Quanto à intensidade de utilização, nas peças de aço, todas são simuladas, já nas peças de ferro fundido são 50% delas. Quando nós sabemos que a peça terá um ensaio mais rigoroso nós simulamos.
S9	Eu oriento sempre o nosso pessoal a ficar o maior tempo possível que puder simulando, uma vez que aqui não estamos “travando” a máquina de produção.
S10	Hoje temos simulado 70% itens novos e 30% de melhoria das peças em produção. Devemos chegar aproximadamente 50% para cada um.
S12	Para as peças novas que não estão dentro das expectativas e metas da engenharia, logo abrimos um plano de ação para melhoria. Os itens correntes de produção segue a mesma regra, ou seja, conferimos junto ao setor de custos como está o desempenho de determinada peça, posteriormente seguimos com a análise com o auxílio da simulação para implantar a melhoria.
S13	As montadoras seguem o APQP adaptado à sua realidade. Como a Nemark conhece todas as montadoras e as respectivas realidades, ela conseguiu reunir no NPDS estas demandas de documentação exigida. O NPDS é dividido em 09 <i>milestones</i> , que vão desde a fase “00” que é a fase cotação, até o “09” que é a fase de transferência da responsabilidade do desenvolvimento de produto para a produção propriamente dita. Geralmente analisamos o produto com base na simulação a fim de estimar em quantas versões conseguiremos definir um bom projeto.
S14	A principal é para promover qualidade do produto. Menor quantidade de retrabalho em máquina, retrabalho no ferramental.
S15	No projeto como um todo são executadas mais de quarenta versões de simulação, desde o primeiro contato com o cliente até o projeto final e construção do ferramental e peça confirmada boa.

No Quadro 10, o S1, disse que em pouco tempo será impossível trabalhar sem a simulação. Isso se assemelha com o Marques (2008) que indica a substituição do método de “tentativa e erro” pela simulação numérica com o auxílio do computador e Ravi (2008), que sinaliza para o aumento da confiança por parte do cliente, em uma fundição que possui a tecnologia de SNPFM e que produz peças técnicas.

A orientação da direção da empresa é para que 100% dos projetos sejam simulados, relatou o S3. Segundo o S9 ele orienta seu pessoal para o maior tempo possível de simulação, o objetivo é não travar a produção, ele prefere que o número de tentativas para o desenho de novos canais, massalotes, posição de peça na placa, uso ou não de resfriadores, entre outros, sejam feitos virtualmente, sem parar a produção para fazer testes práticos. Segundo Ravi (2008) os ensaios de chão de fábrica para o desenvolvimento de um novo produto, não só elevam o seu custo, como também desviam recursos de produção regular.

Da mesma forma o S13, faz uso da tecnologia de SNPFM ao máximo, com o maior número de versões de simulação, com o objetivo de conseguir definir um bom projeto. Este procedimento faz parte da metodologia de desenvolvimento de produto da empresa.

O S7 relatou que não utilizam todos os recursos do software, pois são muitos. Ele disse também que a empresa tem foco no uso da simulação nas peças de aço, as quais são 100% simuladas. Já nas peças de ferro fundido a empresa usa em 50% dos novos projetos, apenas quando sabem que a peça terá um ensaio mais rigoroso. O tempo é um fator importante neste caso. A empresa deveria dispor de mais licenças de uso do software e pessoas para operar.

O S10 relatou que atualmente eles estão simulando 70% peças novas e 30% para melhoria das peças correntes de produção e que este número tende a ser 50% para cada um. Isso em função da demanda de produção de peças novas já com a simulação. O S12 relatou que a definição do emprego da simulação se dá com base nos indicadores de custos.

A realidade da empresa do S5 é que eles não conseguem aplicar a simulação para todos os clientes, por falta de pessoas, porém, a simulação já é exigência de alguns deles. Para Ravi (2008) muitos clientes preferem fornecedores equipados com simulação. Para Alves (2009) os processos se tornarem mais ágeis e com menores custos, uma alternativa para melhoria da confiabilidade dos processos produtivos.

Em relação à utilização, o S15 relatou que são executadas mais de quarenta versões de simulação, desde o primeiro contato com o cliente até o projeto final, que é a construção do ferramental, para todos os ajustes necessários ao projeto.

Quadro 11: Vantagem competitiva

SUJEITO	CONTEÚDO
S1	Produzir de forma mais ágil, com menos percentual de defeito e peças com maior complexidade.
S2	Pode ser definida como um diferencial quando buscar um novo cliente, proporcionando um resultado melhor do produto. Inicialmente no prazo de entrega, e qualidade do produto.
S3	Melhora o relacionamento com o cliente.
S5	A simulação tem dado bastante resultado, um trabalho interno em dois itens chegou economizar um valor acima de R\$ 50 mil.
S6	A melhoria na qualidade, eu não tendo que gerar todo um processo de aprovação para cada cliente, nos permite entregar mais rápido, e isso melhora de certa forma a sua competitividade e diminui seu tempo de espera de faturamento.
S7	O uso de simulação de fundição é tão importante hoje que tem cliente que quer ver o resultado de simulação, antes da peça pronta, ele quer ver o que nós conseguimos aplicar de melhoria no fundido dele com o uso da simulação, em muitos casos se torna uma exigência do cliente a simulação.
S8	Conseguimos demonstrar para os clientes uma peça fabricada, o cliente fica contente, ele passa a ver a nossa empresa com outros olhos, ele fica satisfeito, dá uma credibilidade muito grande para a empresa, é um diferencial frente à concorrência.
S9	Temos exemplo do nosso departamento comercial que quando fazem visita para prospecção de novos negócios, mostram que temos simulação, eu mesmo já participei junto deles de várias visitas. O caminho é este, as fundições que não tiverem simulação irão perder mercado.
S10	O Cliente fica muito mais seguro em fechar negócio, pois além dos profissionais qualificados, a empresa possui uma ferramenta de simulação, a tecnologia ajuda neste aumento de confiança por parte do cliente em fechar o negócio.
S11	Com a simulação nós conseguimos aumentar nossa capacidade de desenvolvimento e atender à demanda crescente por novos produtos. Alguns clientes tinham como procedimento, dividir a sua carteira de produtos com mais outras empresas, decidiram, porém ficar somente conosco, pois a empresa conseguiu mostrar e dar a certeza que as peças estariam dentro das especificações técnicas de projeto e dentro dos prazos.
S12	À medida que uma modificação melhorará a produtividade, reduzir o refugo ou qualquer outro ganho, transmite maior confiança ao cliente, que aprova a alteração e a melhoria é implantada. Isso aumenta a confiabilidade do cliente.
S13	O principal benefício é diminuir retrabalho nos ferramentais e conseqüentemente os custos. Deixamos de produzir peças de protótipos iniciais defeituosas, deixando de gastar com mão de obra e matéria-prima fabricando peça ruim. E quando se tem produto confiável para entregar ao cliente, isso gera uma imagem muito positiva e isso não tem preço.
S14	O exemplo do bloco de motor, que sem o uso da simulação levamos 2 meses para colocá-lo em condições adequadas de produção e com a simulação em menos de uma semana já temos peça boa. Quanto isso significa de economia?
S15	A qualidade do produto, no caso de um desenvolvimento com simulação, conseguimos prever com muito mais precisão o resultado final. Em segundo lugar o tempo de projeto, com a simulação consegue reduzir bastante. No que se refere à vida do ferramental, temos muita tranquilidade em trabalhar na simulação com os melhores parâmetros de processo. No caso do processo de “fundição de alta pressão”, conseguimos definir velocidades críticas que ocasionem desgaste ou quebra do ferramental e com isso interferir na vida útil do mesmo.
S16	O grande benefício da simulação, em minha opinião, é de fato antecipar, produzir um lote de amostra não a custo zero, mas a um custo muito menor, em torno de 10% do custo de um processo convencional.

Nota-se na análise do Quadro 11, o relato do S1, quanto à produção mais ágil, com menos percentual de defeito e peças com maior complexidade, com o uso da simulação. O S2 relata que o uso da tecnologia de SNPFM é um diferencial. O S3 sinalizou que o uso da simulação melhora o relacionamento com o cliente.

Igualar-se aos concorrentes é necessário, mas não transformará ninguém em líder. A empresa deverá tomar decisões para assumir a liderança de mercado (PRAHALAD e HAMEL, 2005). Para Porter (2009) a essência da estratégia está nas atividades, à escolha entre executar de forma diferente as mesmas ou concentrar-se em atividades diferentes daquelas dos seus rivais. A empresa pode ser mais ágil na entrega da peça no seu cliente. O exemplo do S14, que produz bloco de motor, é que sem o uso da simulação a empresa levou dois meses para colocá-lo em condições adequadas de produção e com a simulação em menos de uma semana eles já tinham peça boa.

O desenvolvimento de uma peça fundida passa por várias etapas, entre elas o teste prático, chamado de lote de amostra da coquilha ou ferramenta de fundição. À medida que a empresa investe tempo na etapa de projeto, com uso da tecnologia de SNPFM, ela pode minimizar os custos com os lotes de amostras, conforme relatou o S16 que destacou como o principal benefício da simulação, o fato de fazer um lote de amostra a um custo muito menor, em torno de 10% do custo de um processo convencional. Segundo Ravi (2008) o custo de um processo de chão de fábrica inclui a modificação de ferramentas, a fusão, o vazamento, a inspeção, e alguma perda de materiais, que não podem ser recuperados.

O S13 relatou a diminuição do retrabalho com os ferramentais como o principal benefício do uso da tecnologia de SNPFM. Ele reforçou quando falou que a empresa deixou de produzir protótipos iniciais defeituosos, reduziu o custo com mão de obra e matéria-prima na produção de peças defeituosas.

O S8 destacou em seu relato a satisfação do cliente quando a empresa de fundição utiliza a tecnologia de SNPFM nos seus projetos, eles passam a ver a empresa com outros olhos, com maior credibilidade, é um diferencial frente à concorrência.

A análise do Quadro 11 permite, ainda, uma observação relatada por S10: o cliente fica muito mais seguro em fechar negócio, pois além dos profissionais qualificados, a empresa

possui uma ferramenta de simulação; a tecnologia transmite mais confiança para o cliente quando fecha o negócio. Da mesma forma o S7 relatou que o uso de simulação de fundição tem sido importante, pois o cliente quer ver o resultado de simulação antes da peça pronta, ele quer ver as melhorias aplicadas. Em alguns casos a simulação é uma exigência do cliente, o que relaciona com o fato de muitos clientes preferirem fornecedores equipados com simulação, conforme estudo publicado por Ravi (2008).

O custo da não qualidade, reparos, garantia e substituições estão se tornando cada vez mais importantes, os quais podem ser reduzidos consideravelmente pelo uso da simulação (RAVI, 2008). O S12 relatou que uma modificação que pode melhorar a produtividade e reduzir o refugo, transmite maior confiança ao cliente, que aprova a alteração e a empresa pode implantar a melhoria. Isso aumenta a confiabilidade do cliente. Esta descrição se relaciona com Ravi (2008), que destaca o aumento do nível de confiança do cliente na fundição que possui a tecnologia de SNPFM.

Quadro 12: Barreiras enfrentadas no uso da simulação

SUJEITO	CONTEÚDO
S1	Estão relacionadas a custos da implantação de sistemas e com a equipe.
S3	O corpo técnico sabe do potencial da SNPFM, e a partir do momento que os gestores passam a visualizar os ganhos, fecha o ciclo e não há mais barreira.
S5	Um centro de custo para alocar a tecnologia SNPFM e evidenciar os ganhos e possíveis e diferenciais da fábrica para o mercado.
S11	Temos nos deparado com alguns problemas no uso da simulação, no que se refere às diferenças técnicas entre o simulado e a prática, o que acaba nos levando a ir a fundo e fazer alguns testes e buscar a uma melhor correlação. Avançamos muito nos acertos.
S13	Para quem tem visão e um bom entendimento do negócio, investir em simulação é investir no futuro da empresa.
S16	Quando eu comecei a trabalhar com simulação, 10 anos atrás, havia uma clara falta de credibilidade na simulação, sobretudo baseado em três pontos principais: a não confiabilidade nos resultados da simulação, o tempo excessivo para se conseguir os resultados e a dificuldade no uso. Ao longo do tempo eu vejo primeiro, que os computadores evoluíram bastante, simulações que antes levavam 4 dias para rodar hoje em dia em uma noite já temos os resultados, muitas vezes de até duas versões, reduzindo drasticamente o tempo de simulação. Em relação à confiabilidade, quando não há correlação dos resultados práticos com os simulados, o ponto chave é a falta de consistência dos dados simulados, ou seja, uma falta de informação, este é o grande desafio do usuário de simulação, estar sempre atento a esta questão da entrada dos dados. Outro ponto é que a simulação tem que fazer parte do processo, todo mundo tem que falar de simulação; tem que haver uma integração muito forte, para que todos falem a mesma língua.

Nota-se a partir de uma análise do Quadro 12 que as barreiras quanto ao uso estão associadas à falta de entendimento do que a tecnologia de SNPFM pode proporcionar para a empresa. A barreira quanto à adoção da tecnologia pode ser minimizada quando o gestor percebe o seu benefício como descrito pelo S3. O mesmo relatou que o corpo técnico é quem primeiro percebe o potencial da tecnologia de SNPFM; é necessário que seja explorado o conhecimento dos benefícios para outras esferas de gestão da organização.

A descrição do S16, com destaque na experiência de dez anos com a utilização da tecnologia de SNPFM, aponta para os desafios de implantação. Ele afirma que a credibilidade na simulação era menor, anos atrás, e havia três fatores que contribuíram fortemente para isso: (1) a não confiabilidade nos resultados da simulação; (2) o tempo excessivo para se conseguir os resultados e (3) a dificuldade no uso.

O problema da falta de correlação da simulação com a prática, em alguns casos, conforme descrito pelo S11, pode ser um fator que limita o emprego da tecnologia de SNPFM. No início do uso da simulação, a empresa irá dedicar mais tempo para aproximar os resultados da simulação com prática de fundição. Isso permitirá à empresa aumentar seu conhecimento sobre os processos associados ao uso da simulação.

Ainda em relação aos comentários do S11, nota-se que há um avanço nos acertos apontado por ele, que se assemelha à fala do S16 quando afirma que a falta de informação, é um desafio para o usuário e que os resultados melhoram gradativamente com o tempo de uso.

Segundo Kolososky (2001) a fundição desempenha um papel importante, uma vez que permite obter peças com formatos complexos. Para Bonollo e Odorizzi (2001) a indústria de fundição está constantemente confrontada com desafios; atender às demandas técnicas relacionadas com a qualidade do produto, documentação e tempo de entrega.

Um dos desafios para as empresas de fundição de metais é a gestão como um diferencial de sucesso. (MORAES et al., 2007). Segundo o S13, para quem tem visão e um bom entendimento do negócio, investir em simulação é investir no futuro da empresa.

4.3 Análise documental e visita aos sites das empresas

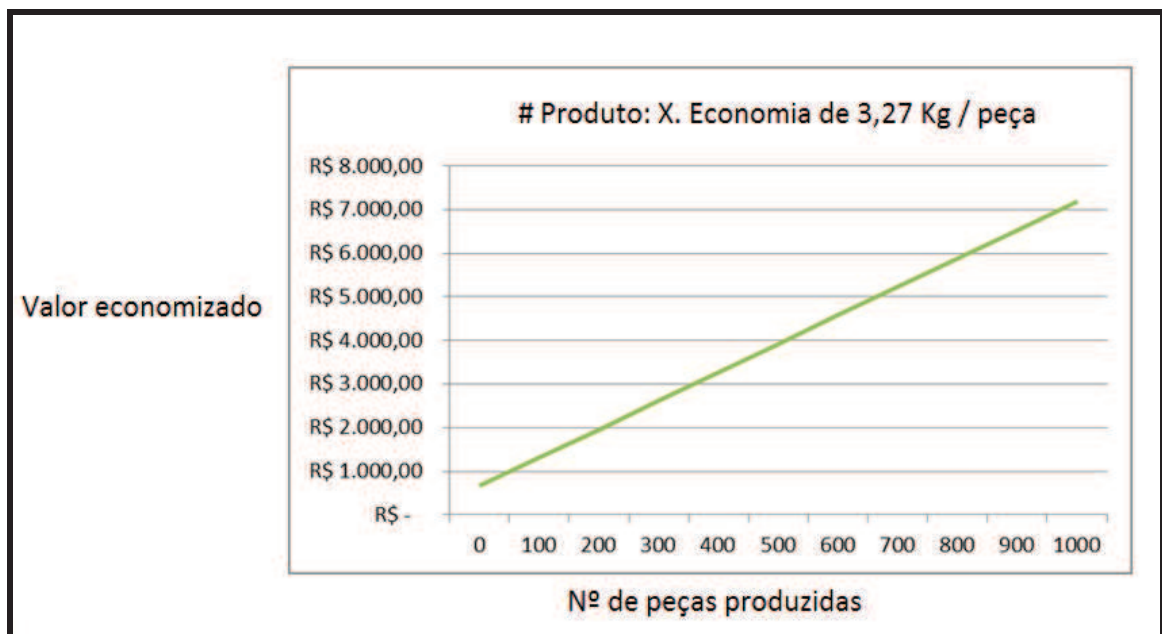
A análise documental tem por objetivos atender os pressupostos tanto de Yin (2005) como de Martins (2008), que recomendam ao pesquisador fazer uso de várias fontes de evidências. Desta forma o pesquisador terá condições para uma melhor análise dos dados obtidos e para afirmar fidedignidade e validade por meio de triangulações de informações, dados, evidências e de teorias.

Após a realização de cada entrevista, solicitou-se aos participantes, selecionar informações relevantes sobre o tema da pesquisa e que fossem enviadas ao pesquisador. Os entrevistados tiveram liberdade de enviar a informação que julgassem importantes e que fossem dados liberados pela empresa para publicação nesta pesquisa.

O pesquisador não teve influência ou participação na seleção dos dados, tabelas, gráfico e comentários enviados pelas empresas. O pesquisador realizou uma pesquisa complementar, no site das empresas, com o objetivo de explorar novas informações.

A seguir são apresentadas as informações cedidas pelos entrevistados nas empresas participantes do estudo de casos múltiplos a correlação com as entrevistas e com a literatura.

Figura 22: Ganhos de escala com economia de metal



Fonte: Candeia Fundição e Usinagem (2014).

Nota-se por meio da análise da Figura 22 que a informação cedida pela empresa Candeia Fundição e Usinagem tem relação com a informação do S1 no Quadro 07, entrevistado da própria empresa. Ele comentou que uma das vantagens do uso da tecnologia de SNPFM é reduzir custos de processo. No caso informado pela empresa, a redução de consumo de 3,27 kg de metal por lote de peça, permite à empresa uma economia em escala, à medida que se produz um número maior de peças. A vantagem competitiva de baixo custo, presente no setor de fundição de metais no Brasil, é aprimorada com a produção em escala.

Conforme informação do Quadro 01, a empresa Candeia Fundição e Usinagem na data desta pesquisa, utilizava a tecnologia de SNPFM há dois anos. Por esta razão a empresa pôde comparar os custos do desenvolvimento de sistemas de canais para fundição na prática e com base no uso da tecnologia de SNPFM. A empresa enviou como material para esta pesquisa, um comparativo entre: (a) o desenvolvimento de um projeto de fundição aplicando-se a tecnologia de SNPFM e (b) com o desenvolvimento na prática, como ilustra a Tabela 01.

Com base nesta informação é possível analisar alguns dados e confrontá-los com a literatura. Notam-se diferenças, na Tabela 01, em (a) total de dias; (b) número de testes práticos; (c) rendimento metálico; (d) ferro utilizado; (e) horas de trabalho e (e) o custo final.

Ravi (2008) afirma que o uso da tecnologia de SNPFM permite que a empresa obtenha como resultado final: (a) menores custos; (b) mais rapidez; (c) possibilidade de realizar mais ensaios virtuais; (d) melhor qualidade e (e) maior rendimento metálico. No final um número menor de testes práticos é necessário.

Comparando o estudo realizado por Ravi (2008) nas fundições da Índia com os resultados apresentados pela Candeia Fundição e Usinagem, nota-se semelhança. O uso da tecnologia de SNPFM permitiu à empresa obter ganhos em diversos produtos quando comparado o desenvolvimento com e sem a simulação, com destaque para o custo final, que é quase nove vezes maior na prática, conforme Tabela 1. O custo total é menor com o uso da SNPFM, pois: (a) foi realizado um número menor de testes; (b) consumido menos ferro e (c) o rendimento metálico foi maior. Estes três aspectos se relacionam com a literatura, com Alves (2009) que se refere ao rendimento metálico, o qual deve ser sempre o maior possível e Martins (2008) com destaque para o custo total.

Tabela 01: Projeto de fundição – Comparativo entre o uso da simulação e a prática

Projeto de Fundição	Com SNPFM	Na prática
Data inicial	21/11/2013	21/11/2013
Data final	10/01/2014	14/02/2014
Total de dias	50	85
Número de testes práticos	1	17
Rendimento metálico	78%	69%
Ferro utilizado	65 Kg	1130 Kg
Horas de trabalho - Operador	66 h	340 h
Custo total	R\$ 1.838,96	R\$ 15.840,00

Fonte: Candeia Fundição e Usinagem (2014).

A empresa Sada Siderurgia, que faz uso da tecnologia de SNPFM há oito anos, conforme Quadro 1, apresentou os dados de refugo, para os produtos X e Y (assim identificados pois a empresa não pôde informar o código das peças; as duas peças são fornecidas para o mercado automotivo) ilustrado na Tabela 2.

A diminuição do índice de refugo para as peças X e Y entre os anos de 2011 e 2013 é destaque, com o uso da tecnologia de SNPFM. Para a peça denominada X, o percentual de refugo em 2011 era de 3,28% e no ano de 2013 de 1,23%. Já para a peça Y no ano de 2011 o percentual de refugo era de 3,39% e em 2013 a empresa registrou um percentual de 0,91%.

Tabela 02: Dados de refugo da empresa Sada Siderurgia

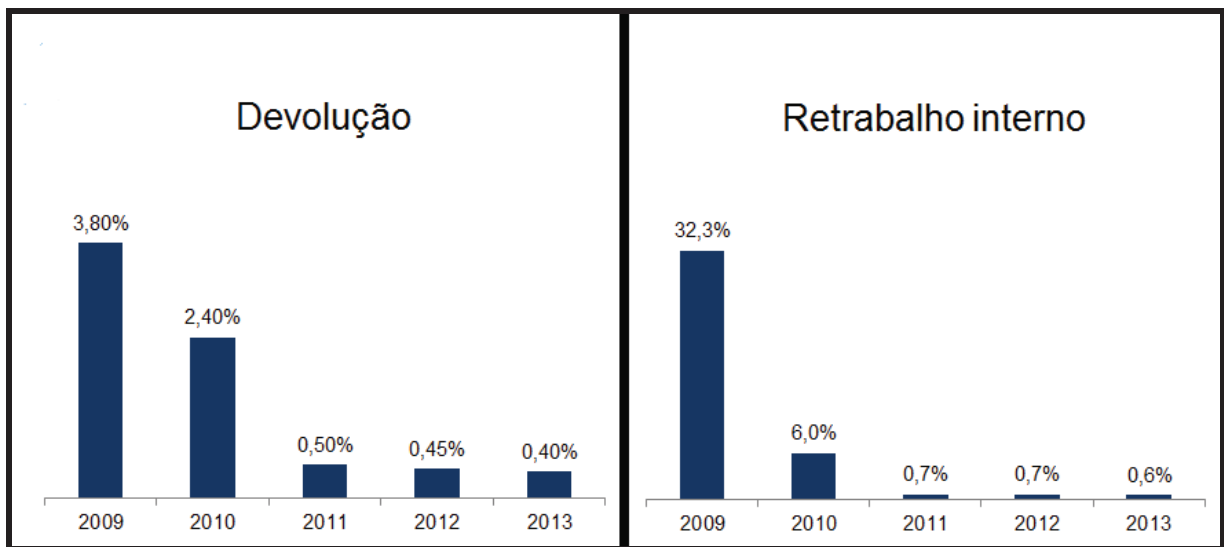
2011	Produto X	Número de peças Usinadas	123185	Produto Y	Número de peças Usinadas	219680
		Número de peças reprovadas	4042		Número de peças reprovadas	7452
		% de Refugo	3,28%		% de Refugo	3,39%
2012	Produto X	Número de peças Usinadas	58950	Produto Y	Número de peças Usinadas	149488
		Número de peças reprovadas	901		Número de peças reprovadas	1204
		% de Refugo	1,53%		% de Refugo	0,81%
2013	Produto X	Número de peças Usinadas	58340	Produto Y	Número de peças Usinadas	154401
		Número de peças reprovadas	719		Número de peças reprovadas	1399
		% de Refugo	1,23%		% de Refugo	0,91%

Fonte: Sada Siderurgia (2014).

O S8, entrevistado da empresa Sada, relatou que o uso da tecnologia de SNPFM foi fundamental para que eles obtivessem estes ganhos e redução do refugo, melhorando os custos finais de fabricação. Os próprios relatos do S8 no Quadro 04 destacam para os respectivos ganhos. O uso da tecnologia de SNPFM permitiu que fossem tomadas decisões no campo virtual buscando-se propostas de melhoria, sem que a empresa utilizasse a “tentativa e erro” que ocasiona maiores custos de fabricação.

Na empresa Nematik, os apontamentos de melhoria e ganhos com a aplicação da tecnologia de SNPFM são descritos na Figura 23. A informação do entrevistado S14 é que as reduções até o ano de 2011 se devem essencialmente às simulações, já as reduções nos anos posteriores são atribuídas ao processo produtivo. Os dados referem-se a um produto específico, e não em relação a todos os cabeçotes da fábrica.

Figura 23: Controle de refugo da empresa Nematik



Fonte: Nematik Alumínio do Brasil (2014).

A informação da Figura 23 confirma, por meio dos dados apontados, o que foi relatado pelo S14 no Quadro 08, que falou sobre a redução do índice de refugo após o uso da tecnologia de SNPFM. A melhoria no índice de refugo permite à empresa entregar um número maior de peças boas, em menor tempo, o que também foi relatado pelo S15 da mesma empresa. Neste caso específico, a vantagem do uso da simulação está associada ao aumento da produtividade da ordem de 30%. A empresa passou a produzir mais rápido um número maior de peças boas.

A redução do retrabalho interno, apontado pelo S13 no Quadro 11 é destaque também na Figura 23. Podem-se analisar os números e verificar que em 2009 o índice de retrabalho era de 32,3% e foi reduzido para 0,7% em 2011 com o uso da tecnologia de SNPFM.

Um dos desafios relatados pelas empresas de fundição de metais é o desenvolvimento dos projetos dentro do prazo estabelecido pelos clientes. Muitas vezes este prazo é curto, não permite que sejam cometidas falhas de produção dos lotes iniciais, pois prejudicaria a entrega da peça. Segundo relato do S8, Quadro 04, antes do uso da tecnologia de SNPFM a empresa Cercena levava quase o dobro do tempo para desenvolver um projeto, já com a simulação os tempos são menores, pois eles não precisam fazer tantas tentativas na prática.

O S9, no mesmo Quadro 04, relata ganhos de mais de uma semana no tempo de desenvolvimento de um projeto, o mesmo é destacado pelo S10, que disse na entrevista que tecnologia foi um divisor, o antes e o depois são altamente perceptíveis. O S11 relatou que antes que a tecnologia de SNPFM fosse implantada o tempo de desenvolvimento do projeto de uma peça era de 45 dias e que atualmente, a empresa desenvolve um projeto similar em no máximo quinze dias. Os clientes passaram a ser mais exigentes quanto aos prazos.

Tabela 03: Percentual de projetos desenvolvidos dentro do prazo

Mês:	Ano:	
	2012	2013
Jan	60%	56%
Fev	33%	41%
Mar	47%	50%
Abr	0%	56%
Mai	25%	0%
Jun	32%	50%
Jul	33%	90%
Ago	0%	63%
Set	24%	69%
Out	50%	89%
Nov	40%	44%
Dez	32%	61%
Média sem Simulação		34%
Média com Simulação		67%
Número de projetos controlados:		
168		

Fonte: Cercena S/A Indústria Metalúrgica (2014).

A análise da Tabela 03 permite observar que os relatos dos entrevistados da empresa Cercena possuem relação com o indicador da empresa sobre os projetos desenvolvidos dentro do prazo. Esse controle teve início em janeiro de 2012, quando a empresa não utilizava a tecnologia de SNPFM, tendo sido controlados 168 projetos até dezembro de 2013.

Nota-se que o máximo que a empresa conseguiu de projetos aprovados, sem o uso da tecnologia de SNPFM foi de 60% no mês de janeiro de 2012, porém a média foi de 37% de projetos desenvolvidos dentro do prazo. Após a implantação da tecnologia de SNPFM a empresa passou a desenvolver no prazo, em média 67% dos projetos, sendo que no mês de julho de 2013, no segundo mês de uso da simulação, a empresa obteve 90% de êxito, entregando quase que a totalidade dos projetos dentro do prazo.

Nota-se na análise da Tabela 04 que a média das peças aprovadas na primeira produção com o uso da simulação (88%) é maior do que a média das peças aprovadas na primeira produção sem o uso da simulação (64%). Após o início dos trabalhos com a simulação (Junho de 2013), percebe-se uma maior estabilidade das amostras aprovadas na primeira produção, o percentual varia entre 75% e 100%.

Antes deste período do uso da tecnologia de SNPFM, a empresa obteve aprovação de 100% das amostras na primeira produção em dois meses (Fevereiro e Março de 2013), porém notam-se períodos com percentuais abaixo destes, como são os casos dos meses de Março e Abril de 2012, por exemplo, com respectivos percentuais de 33% e 35%, o que demonstra uma variação superior a 40% quando a aprovação é feita pelo método prático em comparação ao método do uso da tecnologia de SNPFM.

Esta análise tem relação com o relato do S9 no Quadro 03. Ele disse que antes do uso da tecnologia de SNPFM na empresa, uma ferramenta (modelo) de fundição chegava a ser modificada até vinte vezes e com a simulação não é mais do que duas vezes, o que permitiu reduzir o tempo do projeto (Tabela 3) e a aprovação na primeira produção (Tabela 4). Para Ravi (2008) os ensaios de chão de fábrica, para desenvolvimento de um novo produto, não só elevam o custo como também desviam os recursos de produção.

Tabela 04: Amostras aprovadas na primeira produção

Mês:	Ano:	
	2012	2013
Jan	50%	89%
Fev	70%	100%
Mar	33%	100%
Abr	35%	38%
Mai	68%	93%
Jun	54%	91%
Jul	33%	86%
Ago	78%	83%
Set	68%	100%
Out	55%	75%
Nov	50%	96%
Dez	80%	85%
Média sem Simulação		64%
Média com Simulação		88%
Número de projetos controlados:		
108		

Fonte: Cercena S/A Indústria Metalúrgica (2014).

O S12 mencionou em seu relato na entrevista – vide Quadro 05 – que a empresa tem conseguido aumentar o rendimento metálico em torno de 3%. Os dados fornecidos pela empresa demonstram, para três produtos distintos, valores similares aos descritos na entrevista, para a melhoria no rendimento metálico. Seguem os dados:

- a) Produto CRC 023 – Rendimento metálico era: 83,53% e aumentou para: 86,12%.
- b) Produto CRC 011 – Rendimento metálico era: 85,61% e aumentou para: 87,17%.
- c) Produto CQ 48561 – Rendimento metálico era: 76,89% e aumentou para: 78,16%.

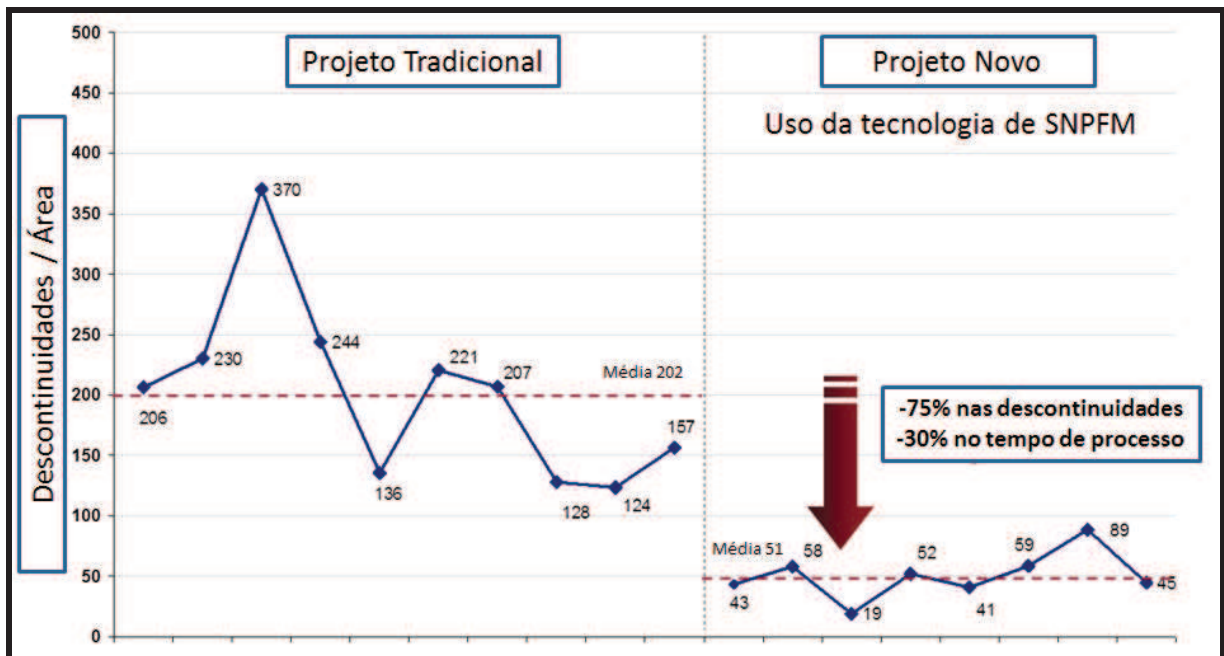
Segundo Alves (2009) uma das maneiras mais efetivas de diminuir o impacto do custo do metal na peça é por meio do aumento do rendimento metálico. Segundo Martins (2008), custo é o gasto utilizado na produção de bens ou serviços. Para um mesmo valor de venda do produto, quanto menor o custo, maior será a margem de lucro da empresa.

Na empresa Voith o destaque é com relação às características das peças, notam-se: (a) grandes dimensões; (b) complexidade geométrica; (c) rigor do controle de qualidade e (d) forte competição com mercado externo. Dentre as informações cedidas pela empresa destacam-se as indicações de defeitos, com diminuição de 75% nas descontinuidades encontradas nas peças e redução de 30% no tempo de processamento. Consequentemente a

empresa obteve menor tempo para o faturamento da peça, quando comparados projeto tradicional e projeto novo, conforme ilustra a Figura 24.

As melhorias aplicadas ao processo com utilização da tecnologia de SNPFM em Pás de Turbina Francis refletiram de forma positiva nos ganhos observados pela empresa, de diminuição dos defeitos após o processo de acabamento com usinagem, o que permite uma redução nos custos de fabricação. O tempo de processamento da peça em produção é menor, portanto a empresa pode faturar mais rápido.

Figura 24: Descontinuidades encontradas após usinagem



Fonte: Voith Hydro (2014).

Com a experiência no uso da tecnologia de SNPFM a Voith passou a utilizar o software na fase de desenvolvimento do produto para orientar o engenheiro como projetar um componente, de maneira mais amigável. Segundo os relatos do S6 no Quadro 09, referindo-se ao “*Cast Friendly*” – nome do projeto – o procedimento já está bem generalizado no grupo e com resultados positivos na redução dos custos de fabricação dos componentes.

Os ganhos descritos na entrevista para esta pesquisa são de 15%. As principais razões são: (a) diminuição do peso das peças e (b) vantagens na etapa de usinagem da peça, em função da retirada de menor quantidade de material, chamado de sobremetal de fundição.

Nesta etapa de análise documental, buscou-se também uma consulta aos sites das empresas, para explorar informações relevantes para a pesquisa, com o objetivo de maior conhecimento das metodologias de trabalho e das estratégias divulgadas. Destaca-se a seguir as informações disponíveis publicamente de algumas empresas participantes do estudo de casos múltiplos, pois nem todas dispõem de informações publicadas nos sites.

O site da Sifco, dona da marca Br Metals Fundições Ltda (<http://www.sifco.com.br>), apresenta a informação de desenvolvimento e produção, utilizando-se de engenharia integrada CIM (*Computer Integrated Manufacturing*), suportado pelos recursos de CAD, CAM (*Computer Aided Manufacturing*) e CAE, porém não foram encontrados registros no site sobre a tecnologia de SNPFM que a empresa utiliza nas plantas de fundição. Estas ferramentas de simulação divulgadas são utilizadas para desenvolvimento e melhorias dos produtos e de produção. Não foram localizados sites específicos das plantas de fundição.

A empresa AmstedMaxion (<http://www.amstedmaxion.com.br>) possui como estratégia o desenvolvimento e fabricação de componentes para o mercado em geral e, principalmente, para seus vagões, permitindo controle de processos, sem depender de outros fornecedores.

A empresa divulga em seu site as ferramentas de (1) desenvolvimento de produtos fundidos industriais e (2) melhoria de processo dos fundidos industriais, são elas:

- Software que simula a solidificação das peças, garante a qualidade e sanidade dos fundidos, estabilidade dimensional e análise de envolvimento do metal líquido;
- Softwares de modelamento para confecção de ferramentais por CNC (Comando numérico computadorizado);
- Tridimensional CNC para verificações dimensionais;
- Processos modernos e semiautomáticos de moldagem e macharia;
- Tratamento térmico para normalização; revenimento; têmpera integral e diferencial;
- Acabamento de fundidos em linhas semi-automatizadas, capacitadas com equipamentos de Ensaio Não Destrutivo (ultrassom e partículas magnéticas).

Observou-se também na visita ao site, que a empresa divulga acordos tecnológicos com as algumas empresas e entidades, tais como:

- *American Steel Foundries*;
- *Griffin Wheel Company*;

- *Freight Car America*;
- *Standard Car Truck*;
- Universidades e Institutos de Pesquisa.

A AmstedMaxion fabrica e fornece vagões de carga, de todos os tipos, para companhias ferroviárias do Brasil e exterior. Produz uma diversificada linha de fundidos ferroviários, como truques e seus componentes, sistemas completos de choque e tração, pontas de viga central fundida, espelhos, pratos de pião, triângulos de freios e hastes de ligação. A missão da empresa é desenvolver e empregar o conhecimento ao propor soluções inovadoras, completas e integradas que, em todo o seu ciclo, sejam capazes de: estimular as equipes; gerar sucesso para os clientes; respeitar o ambiente e a comunidade; garantir a sustentabilidade de todo o negócio. E como visão a empresa quer ser a primeira escolha para os mercados: ferroviário de fundição e de serviços, criar valores sólidos aos negócios e às pessoas, por meio da tecnologia da empresa.

No site da empresa Cercena (<http://www.cercena.com.br>) encontra-se a descrição da certificação ISO 9000 que a empresa possui e relatos sobre as instalações e recursos, nas áreas de fusão, moldagem, rebarbação, controle de qualidade e engenharia. O site apresenta e divulga o software de simulação que a empresa possui, chamado MAGMA⁵.

A empresa Sada Siderurgia (<http://www.sadasiderurgia.com.br>) descreve no site que possui capacidade para desenvolver projetos de ferramental e processos em softwares especializados e última geração em cálculos volumétricos: sólidos; volumes e superfícies – com interface em – CAD / CAE / CAM, capaz em desenvolver todos os ensaios necessários, graças às parcerias de pesquisa e desenvolvimento, bem como proceder a manutenção do ferramental e desenvolver protótipos. A empresa atua no mercado brasileiro e também exporta para os seguintes países: Argentina, Chile, México, Canadá, França e Itália, tendo que manter elevado padrão de qualidade e competitividade.

A Nemak (<http://www.nemak.com>) é uma empresa global, presente em diversos países. Descreve no site o comprometimento com a satisfação das necessidades da indústria automotiva global e fabricação de componentes de alumínio de alta tecnologia. Tem como objetivo ser uma empresa líder em tecnologia, custo, qualidade e tempo de resposta.

Em relação ao desenvolvimento de produto, os centros estão localizados nos seguintes países: Áustria, Canadá, Alemanha, México e Polônia. Os produtos desenvolvidos nesses centros utilizam os mais recentes softwares e tecnologias, incluindo simulações para determinar configurações de produtos ideais.

Foram observadas no site, as ferramentas que a Nematik possuiu nos centros de desenvolvimento de produto:

- Prototipagem Rápida;
- Visualização em três dimensões de resultados de solidificação;
- Simulação de Processos;
- Projeto de ferramental;
- Simulação de manufatura;
- Testes metalúrgicos;
- Inspeções dimensionais.

A Nematik descreve no site que o processo é selecionado para servir os requisitos de projeto e propriedades do material do cliente, apoiados pelo conhecimento e experiência em fundição e no processo de usinagem, construídos ao longo de mais de três décadas.

Observou-se na pesquisa que empresas Voith Hydro e Andreas Stihl não apresentam em seus respectivos sites informações sobre o processo de fabricação de peças por fundição. O destaque em ambos os sites é para o produto final e mercado que atuam, não havendo conteúdo sobre estratégia, produtividade e emprego da tecnologia de SNPFM associada ao processo de fundição de metais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa explorou o uso da simulação numérica do processo de fundição de metais como um diferencial competitivo. É possível agregar valor: (a) sendo diferente; (b) superando o desempenho dos concorrentes; (c) sendo mais eficaz em custo; (d) sendo capaz de utilizar melhor os insumos de fabricação e (e) estabelecendo diferença preservável em relação aos concorrentes, conforme descreve a literatura.

Para um sistema industrial de qualquer natureza é fundamental diminuir os custos e agregar valor aos seus clientes. Segundo os estudos de Porter (1989), o que melhor se enquadra como estratégia competitiva para o setor de fundição é a competição por baixo custo. Portanto, todo estudo que permite uma análise dos processos, com redução de perdas e desperdícios, resultando em uma manufatura enxuta, é considerado relevante neste mercado.

O foco deverá ser, portanto, a eliminação de fatores que reduzam a competitividade das empresas. Os resultados observados nesta pesquisa demonstram que a aplicação da tecnologia de simulação numérica permite às empresas: (a) reduzir o refugo de produção; (b) diminuir o tempo de desenvolvimento de projeto; (c) aumentar o rendimento metálico; (d) ser mais produtiva e (e) diminuir o número de lotes de amostra ou testes práticos.

Perdas e desperdícios não agregam valor e resultam em gastos de tempo, dinheiro e recursos sem lucro, além de adicionarem custos desnecessários aos produtos. Atividades que não agregam valor podem ser eliminadas sem que haja deterioração no desempenho da empresa. A tecnologia de simulação numérica do processo de fundição de metais é utilizada pelas empresas com o objetivo de melhor compreender as variáveis do processo e por meio das análises dos resultados, propor solução para os problemas observados no campo virtual antes de produzir a peça pelo método de tentativa e erro.

Quanto ao uso da tecnologia de simulação numérica, observou-se pelos resultados que na maioria são satisfatórios e atendem à expectativa da diretoria. Uma vantagem observada com o uso da tecnologia de simulação é a melhoria da produtividade, em função de: (a) aumento do rendimento metálico; (b) redução do refugo e (c) diminuição dos ciclos de produção. Outro aspecto observado é a redução do tempo de desenvolvimento de um novo

projeto, em até 50%. Tudo isso permite à empresa, agregar valor ao cliente no sentido de oferecer peças com qualidade e baixo custo.

Conforme descrito por Porter (2009), não é suficiente a empresa dispor da tecnologia se não somar ao bom uso do software outras atividades e por meio da simulação, agregar valor ao cliente. É importante que os profissionais que utilizam a simulação tenham conhecimento técnico na área de atuação e saibam aplicar corretamente a ferramenta de simulação nos projetos e processos, no dia a dia da empresa. A vantagem competitiva de baixo custo, parte dela obtida pelo emprego correto da simulação numérica, pode ser momentânea e não sustentável, quando imitada pelos concorrentes. É importante explorar o conteúdo estratégico do uso da simulação numérica e as competências essenciais, a fim de tornar sustentável o baixo custo como vantagem competitiva.

As diferenças entre as empresas, em termos de custo ou preço derivam de centenas de atividades necessárias para criar, produzir, vender e distribuir seus produtos ou serviços. A vantagem nos custos surge ao se executar atividades específicas com maior eficiência do que os concorrentes. O diferencial competitivo, relatado pelas empresas pesquisadas, destaca-se a partir da aplicação da simulação numérica em seus projetos e processos, o que permite à empresa executar com maior eficiência que seus concorrentes que não tenham acesso a essa tecnologia de simulação ou não façam o uso tão apurado da mesma. Quem consegue reduzir mais os seus custos, é competitivo.

Os clientes comparam as empresas fornecedoras de peças fundidas, dentre outros fatores, pela capacidade de fornecimento de produtos complexos, em menores tempos, com menores preços e com qualidade. O uso da simulação permite à empresa ser mais competitiva, a tecnologia transmite maior confiabilidade ao cliente. No Brasil, porém, uma das preocupações vista neste contexto é que a indústria, por motivos diversos, deixou de investir em novas tecnologias, perdendo competitividade no cenário global.

A busca da vantagem competitiva está na essência da formulação da estratégia. Na luta por participação de mercado, a competição não ocorre apenas em relação aos concorrentes, mas em toda a cadeia de relações da empresa. É importante que as empresas de fundição de metais no Brasil criem uma combinação de atividades para gerar a compatibilidade e dificultar a imitação dos concorrentes. A vantagem competitiva por meio do uso da tecnologia

de simulação é maximizada à medida que a empresa de fundição de metais a emprega em condições estratégicas a fim de explorar ao máximo os resultados, aplicar nos produtos adequados e gerar valor ao cliente.

As pesquisas internacionais sobre as vantagens do uso da tecnologia de simulação reforçam a tese desta pesquisa. São semelhantes às observações e relatos das empresas de fundição de metais pesquisadas no Brasil. O menor tempo de desenvolvimento, redução dos custos de fabricação, diminuição do refugo e aumento do rendimento metálico são os principais pontos de concordância desta pesquisa com os dados internacionais obtidos nos periódicos pesquisados.

Observou-se ainda nesta pesquisa que a empresa de fundição pode explorar o uso da tecnologia de simulação numérica do processo de fundição de metais como parte de uma estratégia competitiva. É possível uma ampliação da capacidade de desenvolvimento, isso permite à empresa atender novas demandas e outros mercados.

A agilidade na fabricação, com conhecimento aprimorado dos parâmetros de processo, viabiliza planejar com mais precisão o resultado. A sustentação da vantagem competitiva é importante, deve-se estabelecer uma boa posição dentro do setor em que se atua. A estratégia de baixo custo pode ser menos sustentável que a de diferenciação, por isso requer da empresa, cuidados e ações constantes, para manter-se competitiva.

A empresa de fundição deve estabelecer individualmente o seu próprio roteiro de uso da tecnologia de simulação numérica do processo de fundição de metais e uma estratégia que melhor se adeque ao momento da empresa, ao mercado e às oportunidades.

6 CONCLUSÃO

As principais aplicações da tecnologia de SNPFM no Brasil são: (a) dimensionamento de canais e massalotes; (b) projetos de ferramentais de fundição; (c) melhoria de processo; (d) aprendizado dos profissionais; e (e) para interações com os clientes das peças fundidas.

A tecnologia de SNPFM é utilizada pelas empresas brasileiras de fundição para: (a) melhoria de produtividade; (b) redução do refugo e do retrabalho; (c) aumento do rendimento metálico; (d) melhoria da qualidade; e (e) cumprimento dos prazos exigidos pelos clientes.

O uso da tecnologia de SNPFM pode contribuir para a competitividade de uma empresa de fundição de metais à medida que for utilizada como ferramenta para obtenção de vantagem competitiva de baixo custo e ofereça esta vantagem ao cliente final da peça fundida.

Em relação à participação da simulação na estratégia da empresa, não foi totalmente compreendida nesta pesquisa, talvez em função do foco no corpo técnico a que foi dirigida. Este merece ser explorado em trabalhos futuros, com maior aprofundamento do tema e associação com outros estudos e métodos de análise.

REFERÊNCIAS:

ABIFA. Disponível em: <<http://www.abifa.org.br/wp-content/uploads/2014/09/ABIFA-169-anuario-junho.pdf>> Acesso em 17 de fevereiro de 2015.

ALVES, Luiz Henrique Dias. Utilização do método de Taguchi na modelagem e otimização de vazios relacionados à solidificação em processo de fundição de aço ABNT 1030. **Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, UNESP, para obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.** Guaratinguetá, 2009.

AMSTEDMAXION. Disponível em: <<http://www.amstedmaxion.com.br>> Acesso em 10 de agosto de 2014.

ANFAVEA. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/tabelas2014.html>> Acesso em 15 de fevereiro de 2015.

AKABANE, Getúlio K. **Gestão estratégica da tecnologia da informação.** Conceitos, Metodologias, Planejamento e Avaliações. Editora Atlas. São Paulo, 2012.

BABBIE, E. **Métodos de pesquisas de Survey.** Tradução de Guilherme Cezarino. Editora UFMG. Belo Horizonte, 1999.

BALLESTERO-ALVAREZ, Maria Esmeralda. **Gestão de qualidade, produção e operações.** 2ª Edição. Atlas. São Paulo, 2012.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo.** Edições 70. Lisboa, 1977.

BÊRNI, Duílio de Avila; FERNANDEZ, Brena Paula Magno (Orgs). **Métodos e Técnicas de Pesquisa modelando as ciências empresariais.** Saraiva. São Paulo, 2012.

BETHELL, Leslie (org.). **História da América Latina.** Vol. V: de 1870 a 1930. 161. Trad. de Geraldo Gerson de Souza. Edusp. Imprensa Oficial. Brasília – DF, 2002.

BIOLO, Simone Maríndia. **Reuso do resíduo de fundição areia verde na produção de blocos cerâmicos.** Mestrado acadêmico em engenharia. Sequência de preparação do molde em areia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

BONOLLO, Franco; ODORIZZI, Stefano. **Numerical Simulation of Foundry Processes.** Servizi Grafici Editoriali. Padova, 2001.

BRAGA, Roberto Silveira. **Marketing de produtos industriais: um enfoque para o mercado de fundição.** Atlas. São Paulo, 1992.

BRANDENBURGER, A.; STUART, H. W. Value-based business strategy. **Journal of Economics & Management Strategy.** [S.I.], 1996.

BRITO, Renata Peregrino; BRITO, Luiz Arthur Ledur. Vantagem Competitiva e sua relação com o desempenho – uma Abordagem Baseada em Valor. **Revista de Administração Contemporânea.** V. 16. N.3. Art. 2. Rio de Janeiro, 2012.

CAMPBELL, John. **Castings**. Butterworth Heinemann. p. 94. Oxford, 1993.

CERCENA S/A Indústria Metalúrgica. Disponível em: <<http://www.cercena.com.br>> Acesso em 10 de agosto de 2014.

COSTA, Ricardo Sarmento; JARDIM, Eduardo. G.M. **Os Cinco Passos do Pensamento Enxuto** (Lean Thinking). Rio de Janeiro, 2010.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica**. Processos de fabricação e tratamento. Volume II. Segunda Edição. McGraw-Hill. São Paulo, 1986.

COFF, R. W. The coevolution of rent appropriation and capability development. **Strategic Management Journal**. V. 31, n. 7, p. 711-733. [S.I.], 2010.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa. Métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 3ª edição. Artmed. Porto Alegre, 2010.

DENNIS, Pascal. **Produção Lean Simplificada**. 2º Edição. Bookman. Porto Alegre, 2008

DENZIN, Norman K.; LINCOLN, Yvonna S. **The American tradition in qualitative research**. Vol. II. Thousand Oaks. Sage Publications. Califórnia, 2001.

DRNEVICH, P., MADSEN, T., NEWBERT, S. Competitive advantage: theoretical challenges & insights from value-price-cost approaches. **Proceedings of the Academy of Management**. Montreal, 2010.

FRANCO, Hilário. **A contabilidade na era da globalização**. Atlas. São Paulo, 1999.

FREITAS, Henrique; OLIVEIRA, Mírian; SACCOL, Amarolinda Zanela; MASCAROLA, Jean. O método de pesquisa survey. **Revista de Administração da USP**. V. 35, N. 3. Julho / Setembro. São Paulo, 2000.

GAMBLE, John E.; THOMPSON JR., Arthur A. **Administração estratégica**. A busca pela vantagem competitiva. 2ª Edição. Bookman. Porto Alegre, 2012.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. Atlas, 5ª edição, páginas: 25-43, São Paulo, 2010.

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas**. V. 35. N. 2. São Paulo, 1995.

GONDKAR, Vivek S.; INAMDAR, K .H. Optimization of Casting Process Parameters through Simulation. **International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM)**. Volume 3. Issue 6, June. ISSN 2319 – 4847. Índia, 2014.

HAGUENAUER, Lia; João Carlos FERRAZ, and D. S. Kupfer. **Competição e internacionalização na indústria brasileira. O Brasil e a economia global**. Campus. Páginas 195-217. Rio de Janeiro, 1996.

HARRISON, J. S; BOSSE, D. A; PHILLIPS, R. A. Managing for stakeholders, stakeholder utility functions, and Competitive advantage. **Strategic Management Journal**. V. 31, n. 1, p. 58-74. [S.I.], 2010.

HITT, Michael A.; IRELAND, R. Duane; HOSKISSON, Robert E. **Administração Estratégica: competitividade e globalização**. Pioneira Thomson Learnig. São Paulo, 2003.

HEISSER, Cristof; FLENDER, Erwin; STURM Jörg C. The history of casting process simulation. **Shape casting: The 4th International Symposium**. TMS. Unites States, 2011.

JOÃO, B.N.; FISCHMANN, A.A. Estratégias baseadas no conhecimento na EMBRAER: um estudo de caso. **FEA-USP**. Work Paper N°04/011. P2-17. [S.I.], 2004.

KHADE, Utkarsh; SAWANT, Suresh. Riser design optimazation based on feeding rules using 3D CAD modeling and casting simulation. **Proceedings of IRF International Conference**, 13th April. ISBN: 978-93-84209-05-6. Chennai. Índia, 2014.

KOLOSOSKY, Jorge. **Estudo de Sistema de Canais para Fundição de Ligas de Alumínio por Gravidade**. Dissertação de mestrado apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica. Campinas, 2001.

KONDIC, Voya. **Princípios metalúrgicos de fundição**. p.3. Polígono. Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1973.

LANA, Henrique Santa Cecília. **Análise do processo de fundição de peças de joalheria assistida por software CAD/CAM**. Dissertação de Mestrado. REDEMAT – Rede Temática em Engenharia de Materiais – UFOP / CETEC / UEMG. Belo Horizonte, 2010.

LEONE, George S. Guerra; LEONE, Rodrigo J. Guerra. **Dicionário de custos**. Editora Atlas, São Paulo, 2004.

LINDGREEN, A.; WYNSTRA, F. Value in business markets: what do we know? Where are we going? **Industrial Marketing Management**. 34(7), 732-748. J. Indmarman, 2005.

LIMA, Joel. **A gestão em empresa familiar de fundição: Obstáculos e estímulos à profissionalização**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Administração da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais em convênio com a Fundação Dom Cabral como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Administração. Belo Horizonte, 2004.

LIMA, Joel; PALMA, Ernani Sales; SALES, Wisley Falco. Avaliação do uso de simulação computacional para produção sob encomenda de peça fundida em aço. **Revista Tecnologia**. V.32, n. 2, p. 209-220. Fortaleza, 2011

LOPER, J.R.; CARL, R. Cast irons – Essential alloys for the future. **LXV Congresso Mundial de Fundição**. Foundryman. V. 96. Parte 11. Coréia do Sul, 2003.

MALAVAZI, Jefferson. Área de fundição: processo de fundição sob pressão. **SENAI**. Osasco, 2005.

MALINOWSKI, P.; SUCHY, J.S. Database for foundry engineers – simulationDB – a modern database storing simulation results. **AGH University of Science and Technology**. Reymonta 23, 30-059. Kraków. Poland, 2010.

MARQUES, Andreia Isabel Granadeiro Cercas. **Diagnóstico de um defeito de fundição Aplicabilidade da simulação numérica em FLOWCast para previsão e resolução de defeitos**. Dissertação submetida à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto para conclusão do Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Porto, 2008.

MARAMALDO, Dirceu. **Teoria da Competitividade Total**. Conceituação e prática. 1ª Edição. Editora Alínea. Campinas, 2000.

MARTINS, Eliseu. **Contabilidade de custos**. 9ª edição. Editora Atlas. São Paulo, 2008.

MARTINS, Gilberto Andrade. Estudo de caso: uma reflexão sobre a aplicabilidade em pesquisas no Brasil. **Revista de Contabilidade e Organizações – FEARP/USP**. Volume: 2, N. 2. Janeiro / Abril. São Paulo, 2008.

MASSUQUETO, Kamila; FREITAS, Maria do Carmo. Conceitos convergentes para obtenção da vantagem competitiva: visão baseada em recurso, no conhecimento e engenharia da informação. **Administração de Empresas em Revista**. 13.14: 93-101. [S.I.], 2014.

MILES, Matthew B.; HUBERMAN, A. Michael. **Qualitative data analysis**. Thousand Oaks. Sage Publications. London, 1994.

MEDEIROS, Marcelo. **História da Fundição**. ABIFA. São Paulo, Editoras Publishers, 2009.

MENDES, José Augusto C.; VISCONTI, Carlos Eduardo de C.; RONDET, Laurent M. Otimização do processo de fundição através de simulação matemática da solidificação. **Congresso Nacional de Fundição**. São Paulo, 1993.

MENEGHETTI, Ângelo Rogério. Marketing Estratégico e Vantagem Competitiva. **Revista de Administração e Contabilidade**. IESA. Ed. Unijui, V.1, n.1. [S.I.], 2002.

MENNE, R. J.; WEISS, U.; BROHMER, A.; EGNER-WALTER, A.; WEBER, M.; Implementation of Casting Simulation for Increased Engine Performance and Reduced Development Time and Costs – Selected Examples from FORD R&D Engine Projects. **Internationales Wiener Motorensymposium**. Viena, 2007.

MODERN CASTING. **48th Census of World Casting Production**. Steady Growth in global output. December. 2014.

MONTECELLI, C. A. **A competitividade da indústria brasileira de fundição**. Dissertação – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1994.

MORAES, Carlos Alberto Mendes; ELY, Eliseu Eduardo; ROCHA, Lisiane Kleinkauf; SIMON, João; KESSLER, Sérgio; SILVEIRA Cláudio; GARCIA, Ana Cristina de Almeida; LORSCHREITER, Geovani; BERTI, Mara; COPETTI, Marco Aurélio. Avaliação da gestão empresarial, tecnológica e ambiental em empresas de fundição como ferramentas para aumento de competitividade no setor: o caso do projeto Fundi-RS. **CONAF – Congresso Nacional de Fundição**. São Paulo, 2007.

MOTTA. R. A busca da competitividade nas empresas. **Revista de administração de empresas**. V. 35, 01. P. 12-16. São Paulo, 1995.

MURLI, Joe. Trabalho padrão do líder: uma das chaves para sustentar os ganhos de desempenho. 2012. Disponível em: <<http://www.lean.org.br>>. Acesso em: 02 março de 2014.

NAKAGAWA, M. **ABC – custeio baseado em atividades**. Atlas. São Paulo, 1994.

NEMAK. Disponível em: <<http://www.nemak.com>> Acesso em 10 de agosto de 2014.

OLAVE, Maria Elena Leon; AMATO NETO, João. Redes de Cooperação Produtiva: uma estratégia de competitividade e sobrevivência para pequenas e médias empresas. **Gestão & Produção**. São Paulo, 2001.

OLIVEIRA, Carlos Gomes de; GUESSER, Wilson Luiz; BAUMER, Ivo. O uso da simulação do processo de fundição no desenvolvimento de peças em ferro fundido nodular. **IV Seminário de Fundição**. Volta Redonda. Rio de Janeiro, 2003.

OLIVEIRA, Paulo Henrique de; GONÇALVES, Carlos Alberto; DE PAULA, Edmar Aderson Mendes. A visão baseada em recursos da inteligência competitiva. **Revista de Ciências da Administração**. V. 15. N. 35. P. 141-151. Santa Catarina, 2013.

Online-Convert. Disponível em: <<http://www.online-convert.com>> Acesso em: 01 de março de 2014.

PIMENTEL, Alessandra. O método da análise documental: seu uso numa pesquisa historiográfica. Departamento de Psicologia Social e Institucional da Universidade Estadual de Londrina – **Cadernos de Pesquisa**, n. 114. Londrina, 2001.

PORTER, Michael. **Vantagem competitiva**: criando e sustentando um desempenho superior. Campus. Rio de Janeiro, 1989.

PORTER, Michael. **Estratégia competitiva**: técnicas para análise de indústrias e da concorrência. Elsevier. Rio de Janeiro, 2004.

PORTER, Michael E. **Competição**. Edição Revista e ampliada. Páginas: 3 – 19; 37 – 44; 54 – 62; 63 – 77. Editora Campus. Rio de Janeiro, 2009.

PRAHALAD, C. K.; HAMEL, Gary. **The core competence of the Corporation**. Harvard Business. V. 3. P 79-91. [S.I.], 1990.

PRAHALAD, C. K.; HAMEL, Gary. **Competindo pelo futuro – Estratégias inovadoras para obter o controle do seu setor e criar os mercados de amanhã**. Páginas: 13 – 20. Elsevier. 12ª Reimpressão. Rio de Janeiro, 2005.

RAVI, B. Casting Simulation and Optimization: Benefits, Bottlenecks, and Best Practices. Mechanical Engineering. **Indian Institute of Technology**. Mumbai, 2008.

RAVI, B. Casting Simulation – Best Practices. Mechanical Engineering Department. **Indian Institute of Technology**. Bombay. 400 076. Transactions of 58th IFC. Mumbai, 2010.

RAVI, B. **A Holistic Approach to Zero Defect Castings**. Technical Paper. **59º Indian Foundry Congress**. Mumbai, 2011.

RIBEIRO, R.A.C. **Desenvolvimento de novos materiais cerâmicos a partir de resíduos industriais metal – mecânicos**. Dissertação. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

RIOS, Carlos Triveño. **Correlação Entre parâmetros térmicos e microestrutura dendrítica e sua aplicação na simulação da fundição de ligas de alumínio**. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. São Paulo. Campinas, 1996.

RICHARDSON, R. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3ª Edição. Atlas. São Paulo, 1999.

ROLIM, C. Engenharia Ltda. Filosofia Lean – Câmara brasileira da indústria da construção. 2012. Disponível em: <<http://www.cbic.org.br>> Acessado em 02/03/2014.

ROSSITTI, S. M. Processos e variáveis de fundição. **Grupo Metal**. São Paulo, 1993.

SADA Siderurgia. Disponível em: <<http://www.sadasiderurgia.com.br>> Acesso em 10 de agosto de 2014.

SANTOS NETTO, J.P; SANTOS S.A; KUNYOSHI, M.S. O processo de institucionalização da gestão do conhecimento nas empresas atuantes no Brasil: estudo de casos múltiplos. CONTECS. **International Conference on Information Systems and Technology Management**. Vol. 9. [S.I.], 2012.

SÁ-SILVA, Jackson Ronie; ALMEIDA, Cristóvão Domingos de; GUINDANI, Joel Felipe. Pesquisa documental: pistas teóricas e metodológicas. **Revista Brasileira de História & Ciências Sociais**. Ano I - Número I – Julho. ISSN: 2175-3423. São Paulo, 2009

SCHMIDT, Joern e Sturm, Jörg C. Desenvolvimento de ferramentais dimensionalmente corretos sem try-out. Trabalho apresentado no 16º Congresso de Fundição – CONAF. 15 a 18 de outubro. São Paulo, 2013.

SHINGO, Shigeo. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da engenharia de produção**. 2ª Ed. Bookman. Porto Alegre, 1996.

SETTI, Dalmarino. **Método multicriterial para seleção de processos de Fundição de metais**. Tese submetida ao programa de Pós-Graduação em engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do Título de Doutor em Engenharia, na área de sistemas de qualidade. Porto Alegre, 2010.

SIFCO S/A. Disponível em: <<http://www.sifco.com.br>> Acesso em 10 de agosto de 2014.

SIMÕES, S.; PEREIRA, M. A. M. **A arte e a ciência de fazer perguntas: aspectos cognitivos da metodologia de Survey e a construção do questionário**. Editora: UFMG. Belo Horizonte, 2007.

SOARES, Glória Almeida. **Fundição – mercado, processos e metalurgia**. Coppe. Rio de Janeiro, 2000.

SOUZA, Tânia Nogueira Fonseca; AGUILAR, Maria Teresa Paulino; NOGUEIRA, Rogéria Alves. Avaliação por simulação da microestrutura e propriedades mecânicas obtidas no ferro fundido nodular em função da adição de diferentes elementos de liga. **3º Internacional Conference on Engineering Optimization**. EngOpt. Rio de Janeiro, 2012.

STUEWE, Luciana; UBEDA, Vinicius. Guia de defeitos de fundição de alumínio sob pressão – Parte I – Defeitos internos. **Congresso Nacional de Fundição**. São Paulo, 2013.

TEIXEIRA, Rui Miguel Marinho. **Estudo Numérico do Efeito dos Principais Parâmetros de Fundição na Formação de Rechupes em Peças Fundidas**. Relatório Final da Dissertação apresentado à Escola Superior de Tecnologia e de Gestão para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Industrial. Instituto Politécnico de Bragança. Portugal, 2013.

VERONESE, Giuliana Santos. Métodos para captura de lições aprendidas: em direção a melhoria contínua na gestão de projetos. **Revista de Gestão e Projetos**. Vol. 5. [S.I.], 2014.

VERRAN, G. O., REBELLO, M.A. e OLIVEIRA, C. G. Influência da velocidade de enchimento sobre a formação de defeito em peças de alumínio: simulação numérica VS. Resultados Experimentais. **14º CBECIMAT – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**. [S.I.], 2000.

VIANNA, Heraldo Marelim. **Pesquisa em educação: a observação**. Plano Editora. Brasília, 2003.

VIEIRA, Guilherme Ernani. Uma revisão sobre a aplicação de simulação computacional em processos industriais (PUCPR). **XIII SIMPEP**. São Paulo. Bauru, 2006.

WOMACK, J.; JONES, D. **A mentalidade enxuta nas empresas**. Campus. Rio de Janeiro, 2004.

WRIGHT, James T. C. e GIOVINAZZO, Renata Alves. **Caderno de Pesquisa em Administração**. Volume 01, nº 12, 2º trimestre. São Paulo, 2000.

YIN, Robert K. **Estudo de caso – Planejamento e métodos**. 3ª edição. Bookman. Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

Apêndice A: Questões de pesquisa utilizadas na Survey

Pesquisa aplicada no 17º Encontro de Usuários do software MAGMA, realizado nos dias 15 e 16 de agosto de 2013, no Rádio Hotel, cidade de Serra Negra / SP.

- 1) Informações suas, por gentileza:
 - a) Possui aproximadamente _____ anos de experiência na área de Fundição
 - b) Possui _____ anos de idade
 - c) Trabalha nesta mesma empresa há _____ anos
 - d) Esta empresa é seu primeiro emprego? _____ SIM _____ NÃO

- 2) Em relação ao tempo de uso do software:
 - a) Você está iniciando o contato com o software
 - b) Menos de 3 anos
 - c) Entre 3 e 5 anos
 - d) Mais de 5 anos

- 3) Aplicação, uso do software para:
 - a) Grande maioria para itens correntes em produção
 - b) Grande maioria para novos projetos
 - c) Indistintamente para ambos (_____% novos projetos e _____% itens correntes em produção)

- 4) Os materiais que são simulados são:
 - a) Somente Ferro Fundido
 - b) Ferro Fundido e Aço
 - c) Somente Aço
 - d) Não ferrosos somente
 - e) Ferrosos e não ferrosos

- 5) Tipo de produtos simulados pela empresa
 - a) Customizados (_____%)
 - b) Não Customizados (_____%)

- 6) Tempo médio de desenvolvimento de um projeto completo
 - a) Até 30 dias
 - b) Entre 30 e 60 dias
 - c) Mais que 60 dias

- 7) Sua formação:
 - a) Técnico
 - b) Tecnólogo
 - c) Engenheiro
 - d) Outra: _____



- 8) Com relação ao Software a empresa possui:
- Somente um usuário
 - Até dois usuários
 - Três ou mais usuários
- 9) O software na empresa está instalado no departamento
- Engenharia de processos / projetos
 - Engenharia de desenvolvimento de produto
 - Departamento de Qualidade
 - Outro: _____
- 10) Caracterize a empresa que você trabalha:
- Possui aproximadamente _____ funcionários
 - Produz aproximadamente _____ ton/ano
 - Atuação no mercado: _____ % interno; _____ % exportação
 - Principais mercados de exportação: _____ ; _____ ; _____
 - Seguimento de mercado: _____ ; _____ ; _____
- 11) Considerando o mercado automobilístico um dos mais exigentes em constante desenvolvimento, qual a participação da empresa neste setor:
- Não fornece
 - Fornece para uma montadora
 - Fornece para mais de uma montadora
 - Fornece para a indústria de autopeças
- 12) Uma avaliação dos resultados do uso do software lhe permitiria dizer que os resultados obtidos com a aplicação da tecnologia são:
- Na maioria são satisfatórios / atendem à expectativa da diretoria
 - Na maioria não são satisfatórios / não atendem à expectativa da diretoria
 - Ainda não foi suficientemente avaliado para se ter esta conclusão
- 13) Comparando um produto que NÃO TENHA sido simulado com um produto similar que TENHA sido simulado, o que melhor representa o tempo de desenvolvimento do projeto é:
- O tempo é menor em _____ %
 - O tempo é maior em _____ %
 - Não existe esta estimativa, por não ser a preocupação principal da empresa
- 14) A empresa utiliza predominantemente o software para:
- Desenvolvimento de produto
 - Desenvolvimento de processo e projeto
 - Outro: _____

- 15) A empresa em que trabalha é composta de capital:
 _____ % Brasil. _____ % Estrangeiro (Qual Nacionalidade? _____)
- 16) A empresa que você trabalha se localiza:
 a) No Brasil
 b) Fora do Brasil. Qual País? _____
- 17) Para empresas que se localizam no Brasil. Geograficamente a empresa que você trabalha localiza-se na região _____, e no Brasil atua no(s) mercado(s) das regiões:
 a) Nordeste
 b) Norte
 c) Sudeste
 d) Centro-Oeste
 e) Sul
- 18) A empresa que você trabalha investe em outros recursos tecnológicos, sem contar a Simulação do processo de fundição de metais:
 Sim _____ Qual: _____
 Não _____
- 19) O lançamento de novos produtos pode ser melhorado, em sua opinião, com a aplicação da simulação numérica do processo de fundição de metais:
 a) Não
 b) Sim, em até _____% do tempo; _____% de custos; _____% desempenho e _____% de _____.
- 20) Considerando a curva de experiência de utilização do software de simulação, você diria que a empresa onde trabalha está no patamar:
 a) Plenamente capaz de utilizar todos os recursos disponíveis
 b) Parcialmente capaz de utilizar todos os recursos disponíveis
 c) Apenas iniciando com muitas possibilidades ainda a serem exploradas.
 d) Outra: _____
- 21) Que tipo de atividades seria útil para aprimorar o desenvolvimento da simulação na fundição de metais:
 a) Workshop com apresentação de cases para a troca de experiências profissionais
 b) Congressos: Nacionais e Internacionais sobre Simulação Numérica
 c) Concursos de projetos de otimização promovidos pelo provedor
 d) Outros: _____

- 22) Considerando uma experiência pessoal anterior ao uso do Software, você diria que:
Seu desempenho profissional melhorou em _____%, e acredita que ainda possa ser
melhorado em _____ %.

----- // -----

Apêndice B: Modelo de carta enviado às empresas para aprovação do estudo de casos

Administração Central
 Unidade de Ensino de Pós-Graduação, Extensão e Pesquisa
 São Paulo, de de .

À

A/C Sr.


Declaramos para os devidos fins que **Reinaldo Oliveira**, RG nº 26.301.736-9 está regularmente matriculado no curso de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos da Unidade de Pós-Graduação, Extensão e Pesquisa do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza.

O Curso de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos 2013 foi recomendado pela Capes – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior na 138ª Reunião (20 a 24/08/2012) do Conselho Técnico Científico de Educação Superior e reconhecido pela Portaria MEC nº 271, de 9 de Abril de 2013.

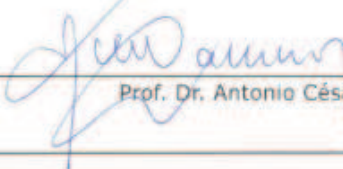
Para sua dissertação de mestrado intitulada **"O uso da tecnologia de Simulação Numérica na indústria brasileira de fundição de metais e seu impacto na Gestão"**, o aluno deverá realizar uma pesquisa empírica relacionada ao tema dessa dissertação, cujo Objetivo Geral é identificar se há como contabilizar ganhos de competitividade na empresa de fundição de metais no Brasil, que faz uso em seu processo, da tecnologia de Simulação Numérica. Como objetivos específicos desta dissertação destacam-se: "Medir o grau de utilização da Simulação Numérica nas fundições de metais do Brasil"; "Listar os possíveis benefícios da utilização da Simulação Numérica do processo de fundição de metais no Brasil"; "Verificar até que ponto a Simulação Numérica pode auxiliar as empresas de Fundição do Brasil a melhorar a sua competitividade frente aos seus concorrentes"; "Conhecer até que ponto o foco na máxima utilização dos recursos disponíveis, comum para o estabelecimento dos ganhos de eficiência, pode ser associado a Simulação Numérica".

Dessa forma, solicitamos sua especial colaboração no sentido de disponibilizar os recursos necessários à coleta de informações nas dependências dessa empresa.

Atenciosamente,



 Débora Pandolfi Ricci
 Unidade de Pós-Graduação, Extensão e Pesquisa
 Secretária de Pós-Graduação do Centro Paula Souza



 Prof. Dr. Antonio César Galhardi
 Orientador

Rua dos Bandeirantes, 169 – Bom Retiro
 São Paulo – SP – 01124-010 – Tel: (11) 3327-3109/3104

posgraduacao@centropaulasouza.sp.gov.br
 www.centropaulasouza.sp.gov.br

Apêndice C: Roteiro utilizado nos estudos de casos múltiplos



Este Estudo de Caso é parte integrante de uma pesquisa acadêmica de Reinaldo Oliveira, intitulada: **A aplicação da tecnologia de simulação numérica e a competitividade das indústrias de fundição de metais do Brasil: um estudo exploratório**. Orientador: Prof. Dr. Antonio César Galhardi.

Estudo de caso aplicado na empresa _____, no dia _____.

Profissionais que contribuíram para o Estudo de Caso, dia _____:

Nome	Setor
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Informações da empresa:

Localização: _____

Principais Produtos: _____

Seguimento de mercado: _____

Materiais produzidos: _____

Alguns Clientes: _____

Tonelagem instalada: _____

Produção atual: _____

Capital: _____

N. de Funcionários: _____

Atuação no mercado: _____ % interno; _____ % exportação.

Questões para orientação das entrevistas:

Informações suas, por gentileza:

Possui aproximadamente _____ anos de experiência na área de Fundição

Possui _____ anos de idade

A empresa utiliza software de simulação há quanto tempo?

Aplicação, para o que o software é utilizado para?

Tipo de produtos simulados pela empresa?

Um projeto é desenvolvido em quanto tempo em média?

Caso seja aplicada a simulação no processo de fundição de metais, o tempo para este mesmo projeto seria de quanto em média?

Uma avaliação dos resultados do uso do software de simulação lhe permitiria dizer que os resultados obtidos com a aplicação da tecnologia são:

Um fator importante para a melhoria da competitividade da empresa é o lançamento de novos produtos antes da concorrência. Este tempo, na sua análise, pode ser melhorado, com a aplicação da simulação numérica do processo de fundição de metais:

Considere a experiência da empresa, anterior ao uso do Software, o que você diria em relação ao desempenho dos profissionais.

A aplicação da simulação permitiu à empresa observar um diferencial competitivo no mercado que atua neste momento? Explique por favor.

Qual a principal razão pela qual a empresa investiu na simulação de fundição de metais? Os ganhos financeiros já foram contabilizados?

Os Clientes para os quais você fornece produtos fundidos observam vantagens quando é aplicada a simulação para o desenvolvimento dos projetos em suas peças? Se sim, cite as principais observações que já foram comentadas por eles.

A empresa já conseguiu medir o grau de utilização da Simulação Numérica, ou seja, há potencial para ampliar a utilização da ferramenta dentro da empresa? Em quais aspectos?

É possível listar os benefícios da utilização da Simulação Numérica do processo de fundição de metais para a empresa? Se possível, quais são?

Se considerado o método tradicional de projetos, com cálculos de canais, massalotes, número de peças na placa, além dos testes práticos, com o uso da simulação, quais são os benefícios que a empresa que possui a tecnologia poderá obter e de que forma contribuirá para a melhoria da competitividade?

Em relação ao lançamento do produto ou entrega no Cliente. Utilizar ou não a simulação numérica do processo de fundição influenciará nos tempos envolvidos? A empresa terá benefício junto ao seu Cliente?

Aplicação da simulação em relação à economia de matéria-prima ou insumos de fundição tem alguma relação direta? De que forma isso pode ser evidenciado na empresa?

A empresa já conseguiu associar o uso da simulação numérica aos ganhos de eficiência na empresa? Qual é o ponto chave nesta questão?

----- // -----