

DESENVOLVIMENTO DE TELHAS EXTRUDADAS EM CAMPOS  
DOS GOYTACAZES-RJ

MARILENA COELHO DE AZEVEDO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY  
RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
FEVEREIRO DE 2018

# DESENVOLVIMENTO DE TELHAS EXTRUDADAS EM CAMPOS DOS GOYTACAZES-RJ

MARILENA COELHO DE AZEVEDO

“Tese apresentada ao Centro de  
Ciência e Tecnologia, da Universidade  
Estadual do Norte Fluminense, como  
parte das exigências para obtenção  
do título de Doutor em Engenharia e  
Ciências de Materiais”.

Área de Concentração: Materiais e Meio Ambiente  
Orientador: Prof. D.Sc. Carlos Maurício Fontes Vieira

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
FEVEREIRO DE 2018

DESENVOLVIMENTO DE TELHAS EXTRUDADAS EM CAMPOS  
DOS GOYTACAZES-RJ

MARILENA COELHO DE AZEVEDO

“Tese apresentada ao Centro de  
Ciência e Tecnologia, da  
Universidade Estadual do Norte  
Fluminense, como parte das  
exigências para obtenção do título de  
Doutor em Engenharia e Ciências de  
Materiais”.

Aprovada em:

Comissão Examinadora:

---

Prof. Cláudio André Chagas Martins Dias (D.Sc., Engenharia de Materiais) –  
SEDUC/RJ

---

Prof. Gustavo de Castro Xavier (D.Sc., Engenharia Civil) – UENF/ LAMAV

---

Prof. Rodrigo Nogueira Tavares (D.Sc., Engenharia de Produção) – UENF/  
LEPROD

---

Prof. Carlos Maurício Fontes Vieira (D.Sc., Engenharia de Materiais) –  
UENF/LAMAV – Orientador

***À Santíssima Trindade  
e à vida de meus filhos...***

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro e aos professores de pós-graduação do curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, pelos ensinamentos transmitidos.

Ao Prof. D. Sc. Carlos Maurício Fontes Vieira, meu orientador, pela oportunidade, pela confiança, pelo excelente trabalho de orientação, e pelo conhecimento que transmitiu a mim.

Aos membros da banca, Prof. Cláudio, Prof. Rodrigo e Prof. Gustavo, por me ajudarem a melhorar o meu trabalho.

Aos meus filhos. Pela compreensão por tantas ausências e por preencherem a minha vida. À Luiza, mãe “postiça” de meus filhos e minha irmã de coração.

Aos professores e amigos do LAMAV/LECIV que demonstraram muita paciência e predisposição a me auxiliar no laboratório e nas disciplinas. Principalmente, à Geovana, que tanto me ajudou nos conteúdos, gráficos e tabelas, tornando-se uma grande amiga. À Micaela e Lucas, pela amizade construída.

Aos meus amigos da GPAT/DGA, que contribuíram fortemente para a conclusão do meu curso. Em especial, a César e Maria José, grandes irmãos.

A todos os funcionários e amigos do Prédio das Oficinas, sempre à disposição para ajudar nas atividades laboratoriais. A Silvio Cayres, incansável na solução de todos os problemas acadêmicos.

À Maria, Mãe do Infinito Amor, e à Santa Terezinha do Menino Jesus, por todas as graças recebidas!

## SUMÁRIO

Lista de Tabelas	iv
Lista de Figuras	v
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações Iniciais	1
1.2 Apresentação e Organização da Tese	4
2. OBJETIVOS	5
2.1 Objetivo Geral	
2.2 Objetivos Específicos	5
2.3 Justificativa	6
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1 A Indústria da Cerâmica Vermelha	7
3.1.1 Histórico	7
3.1.2 Argila	8
3.1.3 Produtos da Cerâmica Vermelha	17
3.1.4 Conformação de telhas cerâmicas por extrusão	18
3.2 Simulação de Eventos Discretos	24
3.2.1 O Software Arena	26
3.3 Métodos de Análise Econômico-Financeira	28
3.3.1 Tempo de Retorno do Investimento – Payback	29
3.3.2 Valor Presente Líquido (VPL)	32
3.3.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)	35
3.3.4 Taxa Interna de Retorno Modificada (TIRM)	37
3.3.5 Índice de Lucratividade (IL)	39
3.3.6 Retorno Adicional Sobre o Investimento (Return On Investment Additional – ROIA)	41
3.3.7 Teoria das Opções Reais (TOR)	44
4. MATERIAIS E MÉTODOS	50
4.1 Histórico da Empresa Parceira	51
4.2 Materiais	52
4.3 Metodologia	54

4.3.1	Caracterização das matérias-primas	55
4.3.1.1	Caracterização química	55
4.3.1.2	Caracterização mineralógica	55
4.3.1.2.1	Difração de Raios X	55
4.3.1.2.2	Dilatometria	55
4.3.1.3	Caracterização física	57
4.3.1.3.1	Análise granulométrica	57
4.3.1.3.2	Plasticidade	57
4.3.2	Formulação	58
4.3.3	Teste Laboratorial	59
4.3.3.1	Elaboração dos corpos de prova	59
4.3.3.2	Determinação das propriedades	60
4.3.3.2.1	Plasticidade	60
4.3.3.2.2	Densidade aparente a seco	60
4.3.3.2.3	Absorção de água	61
4.3.3.2.4	Retração linear	61
4.3.3.2.5	Tensão de ruptura a flexão	62
4.3.3.3	Caracterização microestrutural	63
4.3.4	Teste Industrial	64
4.3.4.1	Retração linear	69
4.3.4.2	Absorção de água	69
4.3.4.3	Tensão de ruptura à flexão	70
4.3.5	Uso de Simulação de Eventos Discretos	71
4.3.5.1	Variáveis de entrada e saída	72
4.3.5.2	Modelo de simulação	75
4.3.6	Análise da Viabilidade Econômico-Financeira	80
4.3.6.1	Fluxo de caixa	80
4.3.6.2	Valor Presente Líquido	85
4.3.6.3	Teoria das Opções Reais – TOR	85
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	88
5.1	Caracterização das Matérias-Primas	88
5.1.1	Caracterização química	88
5.1.2	Caracterização mineralógica	91

5.1.2.1 Difração de Raios X	91
5.1.2.2 Dilatometria	93
5.1.3 Caracterização física	96
5.1.3.1 Análise granulométrica	96
5.1.3.2 Plasticidade	100
5.2 Propriedades Físicas e Mecânicas Pós-Queima	101
5.2.1 Densidade aparente	102
5.2.2 Absorção de água	103
5.2.3 Retração linear	104
5.2.4 Resistência mecânica	105
5.3 Análise Microestrutural	106
5.3.1 Microscopia ótica	106
5.3.2 Microscopia eletrônica de varredura	109
5.4 Teste Industrial	113
5.5 Uso de Simulação de Eventos Discretos	115
5.6 Análise da Viabilidade Econômico-Financeira	116
5.6.1 Fluxo de caixa	116
5.6.2 Valor Presente Líquido (VPL)	117
5.6.3 Teoria das Opções Reais (TOR)	118
6. Considerações finais e conclusão	122
6.1 Sugestões para trabalhos futuros	124
7. Referências Bibliográficas	126



## TABELAS

Tabela 3.1	Varição da composição química de amostras de argila “forte” e “fraca” de Campos dos Goytacazes-RJ	10
Tabela 3.2	Composição química de amostras de argila “amarela”, “amarela-acinzentada”, “cinza” e “preta” de Campos dos Goytacazes-RJ	11
Tabela 3.3	Composição mineralógica das amostras de argila “amarela”, “amarela -acinzentada”, “cinza” e “preta” de Campos dos Goytacazes-RJ	11
Tabela 3.4	Composição granulométrica dos produtos de cerâmica vermelha	15
Tabela 3.5	Limites de Atterberg das amostras das argilas de Campos dos Goytacazes/RJ	16
Tabela 3.6	Classificação dos produtos da cerâmica vermelha	17
Tabela 3.7	Vantagens e desvantagens dos métodos de análise de investimento	43
Tabela 3.8	Vantagens e desvantagens dos métodos que tratam risco e incerteza	44
Tabela 4.1	Variáveis de entrada e saída do modelo de simulação	72
Tabela 4.2	Variáveis de entrada e saída do processo do teste industrial realizado no dia 30/08/2017	74
Tabela 4.3	Custo das matérias-primas por caçamba	85
Tabela 5.1	Composição química das matérias-primas utilizadas nas formulações de massa	88
Tabela 5.2	Composição química da massa cerâmica MRRO utilizada no teste industrial	91
Tabela 5.3	Distribuição de tamanho de partículas das matérias-primas utilizadas	96
Tabela 5.4	Distribuição de tamanho de partículas das matérias-primas utilizadas	100
Tabela 5.5	Limites de Atterberg das massas cerâmicas utilizadas	101
Tabela 5.6	Propriedades físicas e mecânicas das telhas extrusadas	114
Tabela 5.7	Variáveis de entrada e saída do processo do teste industrial realizado no dia 30/08/2017	115

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Difratograma de amostras das argilas “amarela”, “amarela-acinzentada”, “cinza” e “preta” de Campos dos Goytacazes-RJ	12
Figura 3.2	Curvas de ATD, TG, DTG de amostra de argila forte de Campos dos Goytacazes/RJ	13
Figura 3.3	Diagrama de Winkler	14
Figura 3.4	Fluxograma do processo produtivo de telhas	20
Figura 3.5	Fluxograma do processo produtivo de telhas, eliminando a etapa de prensagem	22
Figura 3.6	Desintegrador	23
Figura 3.7	Misturador	23
Figura 3.8	Laminador	23
Figura 3.9	Extrusora	23
Figura 3.10	Forno intermitente	23
Figura 3.11	Forno túnel	23
Figura 3.12	Fluxograma do processo produtivo de cerâmica vermelha	27
Figura 3.13	Fatores de decisão para investir	31
Figura 3.14	Valor da flexibilidade	47
Figura 4.1	Fluxograma descrevendo os passos do projeto de pesquisa	46
Figura 4.2	Alguns dos produtos oferecidos pela empresa parceira ao mercado.	51
Figura 4.3	Argila PG	53
Figura 4.4	Argila CA	53
Figura 4.5	Argila CZ	53
Figura 4.6	Resíduo de granito	53
Figura 4.7	Estufa laboratorial, almofariz e pistilo	54
Figura 4.8	Prensa utilizada para a produção dos corpos de prova para o ensaio de dilatométrica	56
Figura 4.9	Corpos de prova de cada massa cerâmica para o ensaio de dilatométrica	56
Figura 4.10	Dilatômetro usado no ensaio de dilatométrica	56
Figura 4.11	Visão frontal da extrusora	59
Figura 4.12	Visão traseira da extrusora	59
Figura 4.13	Potência da extrusora	59
Figura 4.14	Boquilha padrão	59
Figura 4.15	Forno laboratorial usado para a queima dos corpos de prova	60
Figura 4.16	Equipamento universal de ensaio de tensão de ruptura à flexão	63
Figura 4.17	Microscópio eletrônico de varredura	63
Figura 4.18	Microscópio ótico	63

Figura 4.19	A caçamba do caminhão com o material para ser misturado	64
Figura 4.20	O material depositado no caixão para ser desintegrado e misturado	65
Figura 4.21	Boquilha como o formato a telha portuguesa	65
Figura 4.22	Extrusora e cortador usados no teste industrial	66
Figura 4.23	Extrusora sendo utilizada na produção das telhas	66
Figura 4.24	Telhas arrumadas verticalmente nos pallets de madeira para o processo de secagem	67
Figura 4.25	Telhas após a retirada da lona plástica	67
Figura 4.26	Forno tipo abóboda utilizado para a queima das peças produzidas	68
Figura 4.27	Telhas arrumadas inversamente no forno, próximas ao teto, juntamente como os demais produtos da cerâmica	68
Figura 4.28	Apoios e cutelos para o ensaio de flexão da telha	70
Figura 4.29	Telhas preparadas para o ensaio de flexão	70
Figura 4.30	Máquina universal de ensaios	71
Figura 4.31	Fluxograma proposto para a fabricação de telhas cerâmicas	73
Figura 4.32	Modelo de simulação do processo produtivo de telha desenvolvido no Arena 14.7.	75
Figura 4.33	Configuração do bloco “Guarda Tempo”	76
Figura 4.34	Configuração do bloco “Retrabalho”	77
Figura 4.35	Configuração do bloco “Process 1”	78
Figura 4.36	Configuração do bloco “Qual operario da esteira esta livre?”	79
Figura 4.37	Os principais dados para a elaboração do fluxo de caixa	80
Figura 4.38	Fases do ciclo de vida do investimento	81
Figura 4.39	As fases do ciclo de vida do investimento na fabricação de telhas extrusadas	83
Figura 4.40	Relação dos funcionários da cerâmica com seus respectivos salários proporcionais	84
Figura 5.1	Difratograma de raio X da massa MPG	92
Figura 5.2	Difratograma de raio X da massa MCA	92
Figura 5.3	Difratograma de raio X da massa MCZ	93
Figura 5.4	Difratograma de raio X da massa MRRO	93
Figura 5.5	Dilatometria das massas MPG e MCA	95
Figura 5.6	Dilatometria das massas MCZ e MRRO	96
Figura 5.7	Distribuição granulométrica da argila PG	97
Figura 5.8	Distribuição granulométrica da argila CA	97
Figura 5.9	Distribuição granulométrica da argila CZ	97
Figura 5.10	Distribuição granulométrica de resíduo de rocha ornamental	98
Figura 5.11	Distribuição granulométrica da areia	98
Figura 5.12	Posicionamento das matérias-primas no Diagrama de Winkler	99

Figura 5.13	Prognóstico de extrusão das massas cerâmicas estudadas através dos limites de Atterberg	101
Figura 5.14	Densidade aparente dos corpos de prova após a queima	102
Figura 5.15	Absorção de água dos corpos de prova das massas cerâmicas analisadas	103
Figura 5.16	Retração linear de queima dos corpos cerâmicos	104
Figura 5.17	Resistência à flexão por três pontos dos corpos cerâmicos	106
Figura 5.18	Corpos de prova das massas MPG, MCA, MCZ e MRRO, preparados para microscopia ótica	107
Figura 5.19	Micrografias óticas dos corpos de prova das massas cerâmicas MPG (a), MCA(b) e MCZ (c), queimados a 850°C e com o aumento de 20x	108
Figura 5.20	Micrografias óticas do corpo de prova da massa cerâmica MRRO, queimados a 850°C e com o aumento de 20x	109
Figura 5.21	Microscopia eletrônica de varredura da massa MPG para a temperatura de 850°C com aumento de 400x (A) e 1000x (B)	109
Figura 5.22	EDS dos corpos de prova da massa MPG a 850°C	110
Figura 5.23	Microscopia eletrônica de varredura da massa MCA para a temperatura de 850°C com aumento de 400x (A) e 1000x (B)	110
Figura 5.24	EDS dos corpos de prova da massa MCA a 850°C	111
Figura 5.25	Microscopia eletrônica de varredura da massa MCZ para a temperatura de 850°C com aumento de 400x (A) e 1000x (B)	111
Figura 5.26	EDS dos corpos de prova da massa MCZ a 850°C	112
Figura 5.27	Microscopia eletrônica de varredura da massa MRRO para a temperatura de 850°C com aumento de 400x (A), 1000x (B)	112
Figura 5.28	EDS dos corpos de prova da massa MRRO a 850°C	113
Figura 5.29	Fluxo de caixa para o investimento na produção de telhas cerâmicas extrudadas com coloração clara	116
Figura 5.30	Fluxo de caixa para o investimento na produção de telhas cerâmicas extrudadas com coloração clara (continuação)	117
Figura 5.31	Valores obtidos para o VPL projetado, e para os demais indicadores financeiros.	118
Figura 5.32	Mapa de retorno do investimento	118
Figura 5.33	VPL e demais indicadores calculados para a 1ª opção real de investimento.	119
Figura 5.34	VPL e demais indicadores calculados para a 2ª opção real de investimento	120

## RESUMO

AZEVEDO, M. C. **Desenvolvimento de Telhas Extrudadas em Campos dos Goytacazes-RJ**. Tese (Doutorado) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2018.

Buscar diversificar a oferta de produtos numa empresa é decisão crucial para mantê-la no mercado. Diante disso, a produção de telhas cerâmicas extrudadas aparece como uma oportunidade de investimento para uma indústria cerâmica da região de Campos dos Goytacazes/RJ. Com o intuito de auxiliar na decisão por este investimento, este trabalho consiste na formulação e estudo de viabilidade econômico-financeira de uma massa cerâmica para a produção de telhas extrudadas de coloração clara. Assim, as argilas da região com potencial uso para fabricação de telhas claras foram submetidas à caracterização física, química, mineralógica e morfológica. O Diagrama de Winkler foi utilizado para direcionar a proporção dos materiais utilizados na formulação das massas. Uma das massas foi misturada a um resíduo de rocha ornamental a fim de reduzir sua plasticidade, adequando à conformação por extrusão. O processamento por extrusão foi escolhido por oferecer agilidade e economia ao processo de fabricação de peças cerâmicas. Os testes laboratoriais foram realizados e indicaram a massa MRRO, com o resíduo de rocha ornamental, como de melhor desempenho, com resultados adequados às normas técnicas de fabricação de telhas cerâmicas. Também foi realizado um teste industrial a fim de levantar dados reais da qualidade da telha. Além disso, o teste piloto forneceu informações para que fosse simulado o processo de produção, utilizando o software Arena 14.7, apurando sua eficiência e demonstrando quais as tarefas a serem melhoradas. Por fim, a Teoria das Opções Reais foi empregada na avaliação econômico-financeira, fornecendo indicadores positivos de desempenho que vão orientar a decisão por investir na produção de telhas cerâmicas extrudadas de coloração clara.

## ABSTRACT

AZEVEDO, M. C. **Development of Extruded Tiles in Campos dos Goytacazes-RJ.** Thesis (Doctoral) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2018.

Seeking to diversify the product offering in a company is crucial decision to keep it in the market. Therefore, the production of extruded ceramic tiles appears as an investment opportunity for a ceramic industry in the region of Campos dos Goytacazes / RJ. With the purpose of assisting in the decision for this investment, this work consists of the formulation and study of the economic and financial viability of a ceramic mass for the production of light colored extruded tiles. Thus, the clays of the region with potential use for the manufacture of light tiles were submitted to physical, chemical, mineralogical and morphological characterization. The Winkler Diagram was used to direct the proportion of materials used in the formulation of the masses. One of the masses was mixed with an ornamental rock residue in order to reduce its plasticity, adapting to the conformation by extrusion. The extrusion processing was chosen for offering agility and economy to the process of manufacturing ceramic pieces. The laboratory tests were performed and indicated the MRRO mass, with the ornamental rock residue, as the best performance, with results adequate to the technical standards of ceramic tile manufacturing. An industrial test was also carried out to collect actual tile quality data. In addition, the pilot test provided information to simulate the production process through the Arena 14.7 software, assessing its efficiency and demonstrating which tasks should be improved. Finally, the Real Options Theory was used in the economic-financial evaluation, providing positive indicators of performance that will guide the decision to invest in the production of light-colored extruded ceramic tiles.

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1 Considerações Iniciais**

As indústrias cerâmicas brasileiras têm buscado desenvolver produtos de qualidade comprovada, com o intuito de acompanhar o mercado. Contam com a abundância de matérias-primas naturais, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologia inserida nos equipamentos e processos industriais. A Associação Brasileira de Cerâmica (2017) apresenta o cenário descrito acima informando, ainda, que os tipos de produtos dos diversos segmentos cerâmicos alcançaram admirável nível de qualidade.

Dados como estes divulgados pela ABCERAM, supracitada, retratam a importância do setor cerâmico na conjuntura socioeconômica brasileira e mundial. E, no que se refere à construção civil, setor em alto crescimento nacional, a indústria cerâmica se apresenta como forte oportunidade de mercado. Assim, as cerca de 6.903 empresas deste setor geram, mais ou menos, 293.000 empregos diretos e 900.000 indiretos, faturando anualmente 18 bilhões de reais, aproximadamente, segundo fontes da ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica (2018).

Na região Sudeste, há grande concentração de indústrias cerâmicas. Precisamente, no município de Campos dos Goytacazes, no interior do estado do Rio de Janeiro, existem mais de 100 cerâmicas sindicalizadas, com uma produção estimada de 75 milhões de peças por mês, gerando uma receita, por volta, de R\$ 168 milhões por ano. Segundo a Rede Campos Cerâmica, cooperativa campista, a produção dessas empresas está concentrada em lajotas para lajes, tijolos e telhas (2018).

Em Campos dos Goytacazes, a produção é basicamente voltada para os blocos de vedação (tijolos), sendo a diversificação da produção de cerâmica vermelha para a fabricação de produtos de maior valor agregado uma das áreas de atuação do Laboratório de Materiais Avançados - LAMAV da Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF em parceria com empresas da região de Campos (VIEIRA; SOARES; MONTEIRO, 2003).

Em vista de que a matéria-prima argilosa é um recurso natural não renovável (HE et al., 2012), a fabricação de produtos de maior valor agregado torna-se imprescindível como alternativa para o pleno desenvolvimento das potencialidades do setor ceramista de Campos dos Goytacazes. Entre os produtos de maior valor agregado encontram-se as telhas cerâmicas, produto com grande dificuldade de produção nesta região, dentro das especificações técnicas. Pedroti et al. (2011) explicam que as massas cerâmicas usadas nas indústrias de Campos caracterizam-se por apresentar um comportamento de queima refratário, fato que impede de alcançar as propriedades requeridas em produtos como telhas e pisos extrudados.

Um estudo comparativo das características de uma típica massa cerâmica para telhas do município de Campos dos Goytacazes e massas de reconhecida qualidade provenientes de outras regiões, desenvolvido por Vieira et al. (2003), constatou que a massa de Campos apresenta características significativamente diferentes das demais. Tais como: elevado percentual de alumina, baixo percentual de sílica, excessivo conteúdo de minerais argilosos e elevada perda de massa durante a queima, associada basicamente à predominância caulínica das argilas locais. As argilas locais possuem, ainda, gibbsita (hidróxido de alumínio) em sua composição mineralógica, que sofre uma transformação pseudomórfica durante a queima em temperaturas por volta de 260°C. Fator que também contribui para aumento da refratariedade e perda de massa.

Por outro lado, como a produção de telhas se mostra como opção de investimento a fim de diversificar a atividade local, deve-se buscar sanar tais deficiências das argilas de Campos ao incorporar outros materiais, reformulando a massa cerâmica. Para tanto, argilas de regiões próximas podem ser acrescentadas à massa, visando corrigir as deficiências apontadas no estudo de Vieira et. al, citado acima.

Telhas podem ser fabricadas através de conformação por extrusão ou por prensagem. A conformação por extrusão consiste em um processo pouco difundido na região de Campos dos Goytacazes, porém é possível que se produza telhas com custos menores a partir deste processo. Outra vantagem factível de ocorrer é o aumento da resistência mecânica ao compará-las com telhas prensadas.



A possibilidade de custo menor de fabricação atribui-se à eliminação de uma etapa do processo: a prensagem. Para a conformação por extrusão, necessita-se de uma conformação da massa bem dura, com pouca água de conformação. Assim, na hora do corte, evita-se rebarba a fim de não danificar as peças, contribuindo também para redução do custo. Uma massa mais dura exige uma maior pressão de extrusão e maior uso de energia elétrica. Todavia, por outro lado, exige menor teor de água de conformação e maior empacotamento, o que pode acarretar uma maior qualidade e facilidade de processamento das peças.

A facilidade de processamento ocorre por conter menos água, retraindo menos e gastando menos energia na etapa de secagem. Já o maior empacotamento, como as partículas vão estar em maior contato, contribui em melhores propriedades físicas e mecânicas (YAKUB et al., 2012). Menor absorção de água e maior resistência mecânica estão entre estas melhorias.

Percebe-se, portanto, que representa um processo de fabricação de telhas interessante a ser investigado para se investir. Ressalta-se, ainda, que a padronização do produto buscando atender às tendências modernas do mercado merece destaque, procurando oferecer modelos e coloração diferenciada.

Entende-se também que a análise da viabilidade econômico-financeira de um investimento consiste numa informação básica que o empreendedor precisa ter para tomar a decisão de investir. Da mesma forma, esta análise é imprescindível para que a empresa consiga sobreviver no mercado. Diante dessa perspectiva, levanta-se a necessidade de se buscar avaliar, econômica e financeiramente, a opção de se investir num novo processamento de telhas na região de Campos dos Goytacazes.

A imposição tecnológica de novos formatos de processos de produção, assim como a concorrência mercadológica impulsionando o investimento na diversificação de produtos mais modernos e com menor custo de produção, determina a necessidade de se investir. Porém, o investimento a ser realizado deve ser investigado levantando os custos inerentes, próprios do setor e realidade local. Destaca-se, ainda, a importância de buscar estimar o prazo e o percentual para o retorno do investimento aplicado.

Muitos modelos de avaliação de viabilidade de investimentos estão consolidados na academia e na prática empresarial, podendo ser adaptados à realidade industrial e características mercadológicas locais. Contudo, casos particulares ainda deixam de ser representados de forma satisfatória. Setores industriais se diferem conforme aplicação de novas tecnologias, comportamento do mercado no tempo, variáveis macro e microeconômicas, características organizacionais e perfil de consumidores. Assim, torna-se imprescindível que o modelo de viabilidade econômico-financeira utilizado busque considerar o impacto destas variáveis no investimento.

Neste sentido, esta proposta visa uma formulação de massa cerâmica para produção industrial de telhas com coloração clara conformadas por extrusão, juntamente com a proposta de um modelo para avaliar a eficiência produtiva e o retorno deste investimento. Esse estudo foi desenvolvido em parceria com a empresa Arte Cerâmica Sardinha. Foram analisados os investimentos necessários e previsto o desempenho do processo a ser implantado por meio de ferramentas de simulação, de forma a determinar a viabilidade econômica do produto.

## **1.2 Apresentação e Organização da Tese**

Após apresentar o contexto do trabalho através da introdução no Capítulo 1, a próxima seção trata de descrever seus objetivos geral e específicos. De forma subsequente, a justificativa desta tese é defendida.

No Capítulo 3, desenvolve-se a revisão bibliográfica, onde os principais conceitos e temas relacionados com a pesquisa são levantados e discutidos, em três seções. São elas: A Indústria de Cerâmica Vermelha; Simulação de Eventos Discretos; e, Métodos de Análise Econômica.

O Capítulo 4 aborda os materiais utilizados e a metodologia aplicada para desenvolver a pesquisa. A próxima seção, Capítulo 5, trata de relacionar e discutir os resultados obtidos pelos métodos aplicados.

Por fim, as considerações finais e conclusões são apresentadas no Capítulo 6. Destaca também as sugestões para trabalhos futuros.

E, por último, nas Referências Bibliográficas, relacionam-se os autores e fontes usadas neste trabalho, para fundamentar os conhecimentos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral desta proposta consiste na formulação e estudo de viabilidade econômico-financeira de uma massa cerâmica para a produção de telhas extrudadas de coloração clara.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Determinar as características físicas, químicas, mineralógicas e morfológicas de argilas com potencial uso para fabricação de telhas claras.
- Desenvolver formulações através do Diagrama de Winkler.
- Avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos corpos de prova.
- Determinar a melhor composição para produção de telhas extrudadas de coloração clara utilizando as matérias-primas em estudo.
- Utilizar um modelo de simulação para prever o desempenho do sistema a ser implementado, analisando a eficiência do processo produtivo.
- Identificar indicadores de desempenho a serem utilizados no processo de tomada de decisão sobre o investimento no processo de fabricação de telhas extrudadas.
- Analisar a viabilidade econômica da produção de telhas extrudadas.
- Analisar o impacto na competitividade empresarial em termos de ganho financeiro ao adotar o processo de conformação de telhas por extrusão, propondo alternativas estratégicas.

### 2.3 Justificativa

Especialmente em tempos de crise global, os investimentos em inovação acabam sendo postergados, pois as soluções de curto prazo são mais urgentes para garantir o presente. Entretanto, a sobrevivência e o futuro das organizações dependem de sua capacidade de inovar para manter a competitividade, obter maiores margens de lucro e/ou aumentar a participação no mercado.

A realização de investimentos deve ser efetuada de forma responsável, não se baseando somente na intuição dos gestores, mas sim em uma análise detalhada que deixe claros os resultados futuros.

No que tange ao investimento em novas tecnologias de fabricação, como o processo de fabricação de telhas cerâmicas extrudadas, pode-se afetar a capacidade das instalações e a produtividade das operações de formas imprevisíveis caso não se realize uma análise eficaz que possibilite prever os resultados de sua implantação. Em caso de erro nas decisões para investimento, além da perda dos recursos empresariais investidos, a empresa ainda poderia passar por dificuldades técnicas para reverter o processo de fabricação ao seu estado original. Fato que acarretaria interrupções indesejáveis no trabalho para a realização de mudanças.

O processo de conformação de telhas por extrusão mostra-se mais vantajoso do que a conformação por prensagem, comumente utilizado. Contudo, ainda não é explorado em Campos dos Goytacazes/RJ. E, considerando que a telha extrudada apresenta resistência mecânica favorável, tornando-se mais coesiva e densa, e absorvendo menos água, a extrusão de telhas deve ser pesquisada como alternativa de fabricação. Portanto, a formulação de uma massa cerâmica adequada a este processamento se faz necessária.

Os aspectos acima mencionados evidenciam a importância de se desenvolver este trabalho.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 A Indústria da Cerâmica Vermelha**

Esta sessão apresenta um histórico da cerâmica vermelha, descrição das matérias-primas componentes das massas cerâmicas, conceitos e algumas propriedades principais referentes à argila. Ainda relaciona características do processo produtivo da cerâmica vermelha.

##### **3.1.1 Histórico**

A história da cerâmica possui milhares de anos, sendo seu processo de fabricação de domínio milenar. Tanto que a cerâmica pode ser considerada o material artificial mais antigo produzido pelo homem, abordam Souza et al. (2012). As primeiras peças de argila cozida foram encontradas em sítios arqueológicos no Japão a cerca de 8.000 anos atrás ou mais. Construções utilizando blocos cerâmicos estiveram presentes em diversas civilizações, influenciando em estilos arquitetônicos em diferentes épocas.

No Brasil, estudos arqueológicos indicam a presença da cerâmica na região amazônica por volta de 5.000 anos atrás (ANFACER, 2015). Como processo produtivo, a fabricação de cerâmica teve origem no século XVI, nos Estados da Bahia e Pernambuco, sendo introduzida por imigrantes europeus.

Hoje em dia, a indústria cerâmica é um setor que possui papel fundamental na indústria da construção civil, além de ter boa participação na economia nacional. Este segmento tem como característica uma indústria extremamente pulverizada espalhada por todo o país e unidades relativamente próximas aos mercados consumidores. Prado e Bressiani (2013) declaram que, embora haja exceções, a grande maioria das unidades produtivas é composta de pequenas e médias empresas de organização simples e familiar, com deficiências de mecanização e gestão.

De qualquer forma, é uma importante atividade base da construção civil brasileira, produzindo tijolos maciços e furados, blocos de vedação e estruturais, telhas, lajes, lajotas, manilhas e pisos rústicos. Com produção estimada de 63,6 bilhões de peças/ano de cerâmica, compreende uma

indústria com importante papel social na expressiva geração de empregos, cerca de 300.000 diretos e 900.000 indiretos, e alto faturamento anual, segundo dados da ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica (ANUÁRIO ESTATÍSTICO, 2018).

Em Campos dos Goytacazes, cidade foco deste trabalho, um importante pólo ceramista está instalado, abrigando cerca de 120 fábricas (AMARAL, 2016). A produção de cerâmica vermelha neste município é basicamente voltada para a fabricação de blocos de vedação e lajotas, produtos de baixo valor agregado. Isto porque as massas cerâmicas usadas nesta localidade apresentam comportamento de queima refratário, não permitindo alcançar propriedades requeridas para produtos de maior valor agregado, como a telha ou pisos extrudados.

Silva et al. (2014) explicam que o processo de produção na indústria cerâmica se inicia na escolha das argilas que serão utilizadas em função do tipo de produto cerâmico que se pretende produzir. E reforçam ao ressaltar que a argila é o principal insumo desses produtos. O próximo item trata de caracterizar esse material essencial para a indústria cerâmica.

### **3.1.2 Argila**

Em geral, segundo Macedo (2007), as argilas são materiais muito heterogêneos, cujas características dependem da sua formação geológica e da localização da extração. Prado (2011) (apud. TEIXEIRA-NETO, 2009) afirma que as argilas são comumente definidas como um material inorgânico, natural, terroso, de granulação fina, que adquire, geralmente, certa plasticidade quando umedecida com água.

Argilas também podem ser definidas como rochas constituídas essencialmente por argilominerais misturados, por vezes, a outros minerais, e/ou materiais não argilosos, além de matéria orgânica (VIEIRA et al., 2005).

O termo argila, de acordo com Silva et al. (2014), refere-se a um material de ocorrência natural, o qual é composto, a princípio, por minerais de granulometria fina. Esses minerais são geralmente plásticos, com o apropriado teor de água, e endurecem quando secos ou calcinados.

Para Maia (2012), a argila é uma mistura de diferentes minerais com tamanhos variados de partículas. A autora citada relata, fundamentada em Gomes (1988), que alguns minerais são denominados argilominerais. Argilominerais são materiais argilosos constituídos de silicatos hidratados de alumínio; ferro; e magnésio. Comumente, contém também alguma porcentagem de sódio, potássio, lítio e outros. Junto com esses elementos básicos vem sílica ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), mica, calcário e matéria orgânica (MORAES, 2007). Esse tipo de mineral caracteriza-se por: possuir elevado teor de partículas, geralmente inferior a  $2\mu\text{m}$ ; formar uma massa plástica, quando misturado à água; tornar-se consistente e rígido após seco; e, quando submetido a uma temperatura superior a  $1000^\circ\text{C}$ , adquirir elevada dureza.

A caulinita é o argilomineral mais encontrado na natureza e, por isso, está disponível na maioria das argilas naturais. O feldspato, por sua vez, é o mineral precursor para a formação da caulinita e é o mais abundante na crosta terrestre. Ainda existem vários outros argilominerais presentes na natureza, por exemplo, ilita, haloisita, montmorilonita, cloritas e tantos outros (SANTOS, 1989).

Propriedades da argila como granulometria, plasticidade e composição mineralógica, dentre outros fatores, determinam a qualidade das peças a serem fabricadas (MORAES, op. cit.). Embora as argilas se encontrem em quase toda a superfície terrestre, suas propriedades variam de forma significativa e de acordo com o local onde são encontradas, influenciando em sua composição físico-química (NZEUKOU et al., 2013). Ribeiro (2008) explica que, até numa mesma jazida, pode-se encontrar grandes diferenças de composição nas argilas. Algumas podem ser utilizadas tal como são extraídas, enquanto outras devem ser purificadas e misturadas para se tornarem moldáveis (CHRISPIM et al., 2010).

Silva et al. (2014) defendem que a importância de preparação da massa argilosa reside em vários aspectos, destacando-se: a qualidade do produto, produtividade, redução do consumo energético na produção, redução de perdas, redução do consumo de argila.

No caso de Campos dos Goytacazes, local foco da proposta deste trabalho, as argilas já foram caracterizadas por vários pesquisadores, com resultados semelhantes. Assim, a argila encontrada em solo campista, de

forma generalizada, apresenta baixo teor de óxido de silício (mesmo sendo predominante comparado aos outros elementos), alto teor de óxido de alumínio (segundo elemento mais presente), uma considerável quantidade de óxido de ferro, e, ainda óxidos alcalinos e alcalinos terrosos (VIEIRA et al., 2000; VIEIRA, 2001; VIEIRA et al., 2003; MONTEIRO e VIEIRA, 2004; MILHEIRO et al., 2005; SOUZA et al., 2005; SOUZA e HOLANDA, 2012).

A tabela abaixo apresenta a composição química de amostras de argilas denominadas “forte” e “fraca” de Campos dos Goytacazes estudadas em alguns dos trabalhos citados acima. Esta denominação se refere ao menor ou maior teor de areia presente. Argilas mais arenosas são denominadas “fracas” ou “magras”. Enquanto argilas menos arenosas são chamadas de “fortes” ou “gordas (VIEIRA e PINHEIRO, 2011). Foram 08 amostras da argila “forte” e 05 amostras da argila “fraca”, com a composição química variando, em porcentagem, conforme os dados expressos na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Variação da composição química de amostras de argila “forte” e “fraca” de Campos dos Goytacazes – RJ.

Argilas	Composição Química								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	PF
Forte <sup>1,2,3,4</sup>	40,63	52,94 a	5,10	0,77 a	0,05 a	0,22	0,8	0,22 a	11,96
	a	31,60	a 10,92	1,47	0,30	a	a 1,91	0,56	a
	48,84					1,13			18,65
Fraca <sup>1,4,5</sup>	39,25	21,48 a	8,41	1,17 a	0,06 a	0,31	1,10 a	0,30 a	9,52 a
	a	30,30	a	1,18	0,45	a	2,27	0,74	16,13
	55,75		9,94			0,98			

Fonte: Adaptado de <sup>1</sup>Vieira et al., 2003; <sup>2</sup>Souza et al., 2005; <sup>3</sup>Milheiro et al., 2005; <sup>4</sup>Monteiro e Vieira, 2004; <sup>5</sup>Souza e Holanda, 2012.

Do mesmo modo, outros tipos de argila foram caracterizados e sua composição química está contida na Tabela 3.2.



Tabela 3.2: Composição química de amostras de argila “amarela”, “amarela-acinzentada”, “cinza” e “preta” de Campos dos Goytacazes – RJ.

Argilas	Composição Química								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	PF
Amarela	44,61	29,03	9,15	1,34	0,28	1,09	1,55	0,40	12,11
Amarela-acinzentada	44,07	29,89	9,15	1,36	0,22	1,04	1,44	0,47	12,03
Cinza	46,73	32,42	4,00	1,50	0,19	0,66	1,19	0,41	12,79
Preta	44,48	30,72	3,72	1,09	0,27	0,41	0,58	0,34	16,23

Fonte: Adaptado de Vieira, 2001; Monteiro et al., 2004.

O alto teor de óxido de silício (SiO<sub>2</sub>) deriva da presença de silicatos (caulinita e illita/mica) e, também, sílica livre. O óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) está formando silicatos e, também, na forma de hidróxido de alumínio (gibbsita). Apresenta percentual de óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), na faixa entre 3,76 e 8,87%, responsável pela coloração avermelhada dos produtos de cerâmica vermelha após queima. E, também, contém baixo teor de materiais fundentes (K<sub>2</sub>O e CaO), exceto óxido de ferro (MAIA, 2012).

A Tabela 3.3, a seguir, apresenta a composição mineralógica das amostras de argilas e observa-se a predominância do mineral argiloso caulinita, numa variação entre 56,6% a 64,6%.

Tabela 3.3: Composição mineralógica das amostras de argila “amarela”, “amarela-acinzentada”, “cinza”, “preta” de Campos dos Goytacazes – RJ.

Amostras	Mineral em peso (%)			
	Caulinita	Mica	Quartzo	Hidróxidos
Amarela	56,6	11,8	22,0	9,6
Amarela-acinzentada	58,4	11,2	21,8	8,6
Cinza	64,6	9,5	19,5	6,4
Preta	61,9	4,8	25,9	7,4

Fonte: Adaptado de Vieira (2001).

A composição tipicamente caulínica das argilas de Campos dos Goytacazes pode ser confirmada por meio do difratograma, apresentado na Figura 3.1. Essa indicação se dá através da relação SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, na qual o valor é de 1,18 para a caulinita teórica. A presença deste argilomineral é maior à medida que a relação entre estes elementos se aproxima deste valor. Sabe-se

que a grande presença de argilominerais eleva a plasticidade e perda ao fogo, e influencia também na retração de queima, como verificado no trabalho de Monteiro et al. (2004). Com isso, promove maior gasto energético na etapa de secagem. E, ainda, pode provocar trincas de secagem e de queima nas peças.

Na Figura 3.1, observa-se a predominância da caulinita e, também, o quartzo como segundo maior constituinte. Ainda é possível identificar a presença de outros minerais como mica e gibbsita, e argilominerais – ilita e montmorilonita. Goetita e rutilo foram também detectados em pequenas quantidades.

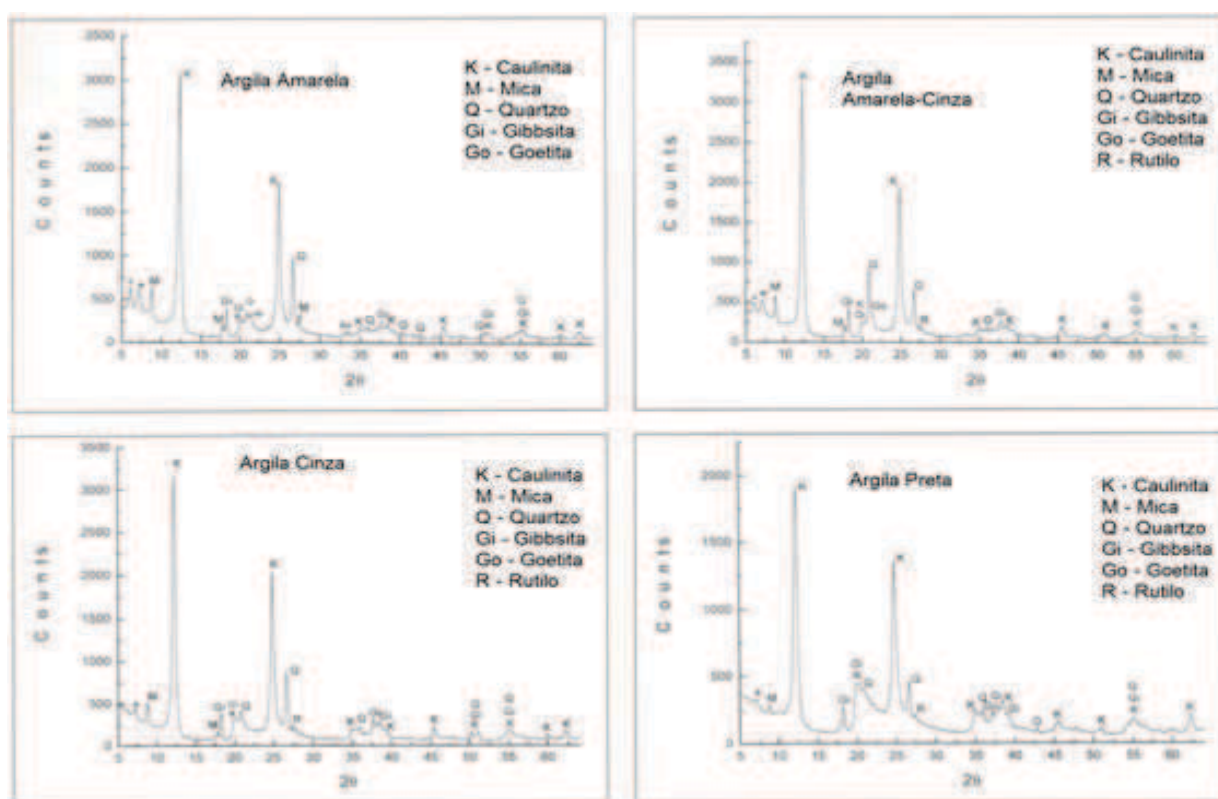


Figura 3.1: Difratoograma de amostras das argilas “amarela”, “amarela-acinzentada”, “cinza” e “preta” de Campos dos Goytacazes – RJ (Monteiro e Vieira, 2004).

Dalpasquale et al. (2013) explicam que a análise termogravimétrica está fundamentada no estudo da variação da massa de uma amostra, em decorrência de uma transformação física ou química, em função da temperatura ou do tempo. Por meio desta análise, é possível medir a variação da massa de um material, quando este é submetido a um controlado programa de temperatura, estabelecendo faixas de temperatura (PASCHOAL, 2003). Então, iniciam-se processos de decomposição, mudança cristalina,

sinterização, etc. Com isso, é possível obter resultados sobre a composição, estabilidade dos compostos intermediários, bem como sobre a composição do produto formado após o aquecimento (PONTIKES et al., 2007).

É isso que é demonstrado na Figura 3.2, que apresenta as curvas de ATD – análise termodiferencial, e ATG – análise termogravimétrica.

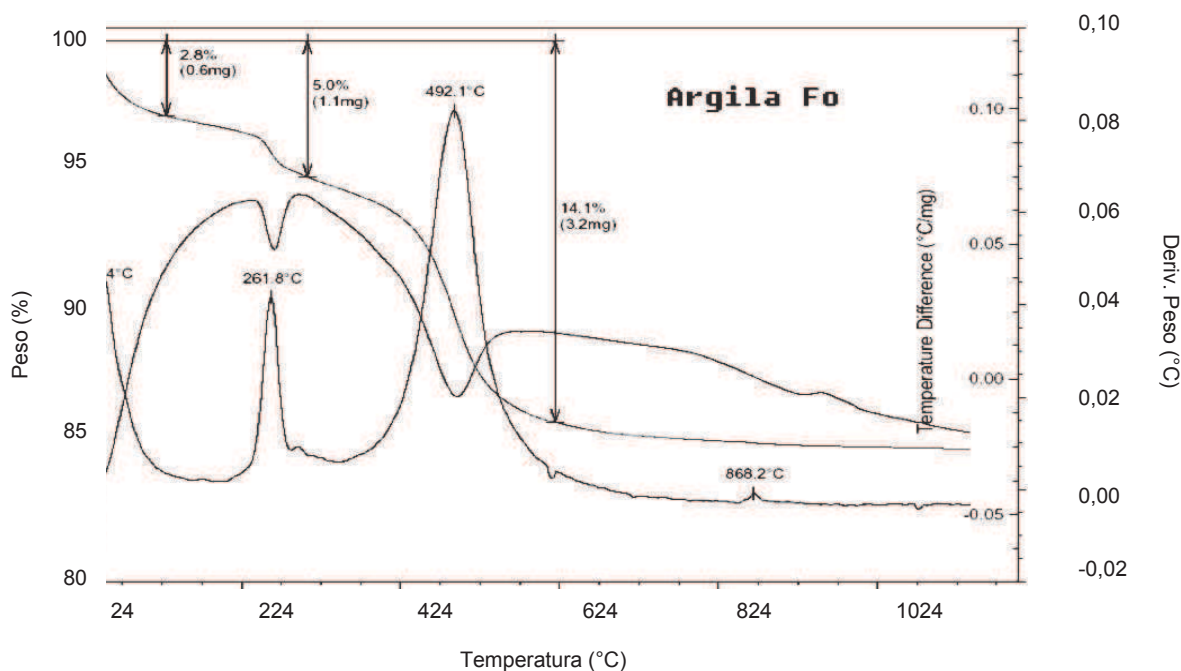


Figura 3.2: Curvas de ATD, TG e DTG de amostra de argila forte de Campos dos Goytacazes/RJ.  
Fonte: Vieira e Pinheiro, 2011.

Através da Figura 3.2, pode-se observar o comportamento térmico da amostra e sua perda de massa. O material passa por uma reação endotérmica por volta dos 260°C, havendo eliminação de água de hidróxidos de alumínio (gibbsita). Ocorre outra reação endotérmica em temperaturas próximas a 490°C, eliminando hidroxilas de caulinita. E, por fim, um pequeno pico exotérmico em temperaturas ao redor de 950°C, caracterizando a formação de novas fases a partir da decomposição da caulinita.

O conhecimento da composição química das matérias-primas também é de fundamental importância para o processo de fabricação da cerâmica vermelha. Os componentes das matérias-primas podem ser classificados em plásticos e não-plásticos. As matérias-primas plásticas constituem as argilas e outros filossilicatos. Conferem importantes características na fase de

conformação das peças cerâmicas, como a trabalhabilidade e resistência mecânica a cru, e no processamento térmico, como estrutura e cor (MOTTA et al., 2001). Os componentes não-plásticos também atuam nas fases de conformação e prensagem, diminuindo a retração das peças e favorecendo a secagem. Contribuem também na fase de queima, controlando transformações, deformações e a sinterização.

A composição granulométrica da argila é outra característica importante para definição do seu campo de aplicação (DONDI et al., 2009), refletindo o conteúdo de argilominerais e quartzo. Este critério, assim como seus respectivos campos de aplicação, é indicado no diagrama triaxial de Winkler. Uma massa cerâmica não pode ser constituída somente de argilas plásticas, porque apresentam dificuldades no processamento, desde a conformação da peça, inclusive se for por extrusão, incluindo a secagem e a queima. A presença de materiais desplastificantes altera o comportamento das massas durante o processamento de conformação, facilitando a extrusão. Figura 3.3, a seguir, apresenta o Diagrama de Winkler, onde a distribuição granulométrica dá uma ideia da composição mineralógica e de características físico-químicas das argilas.

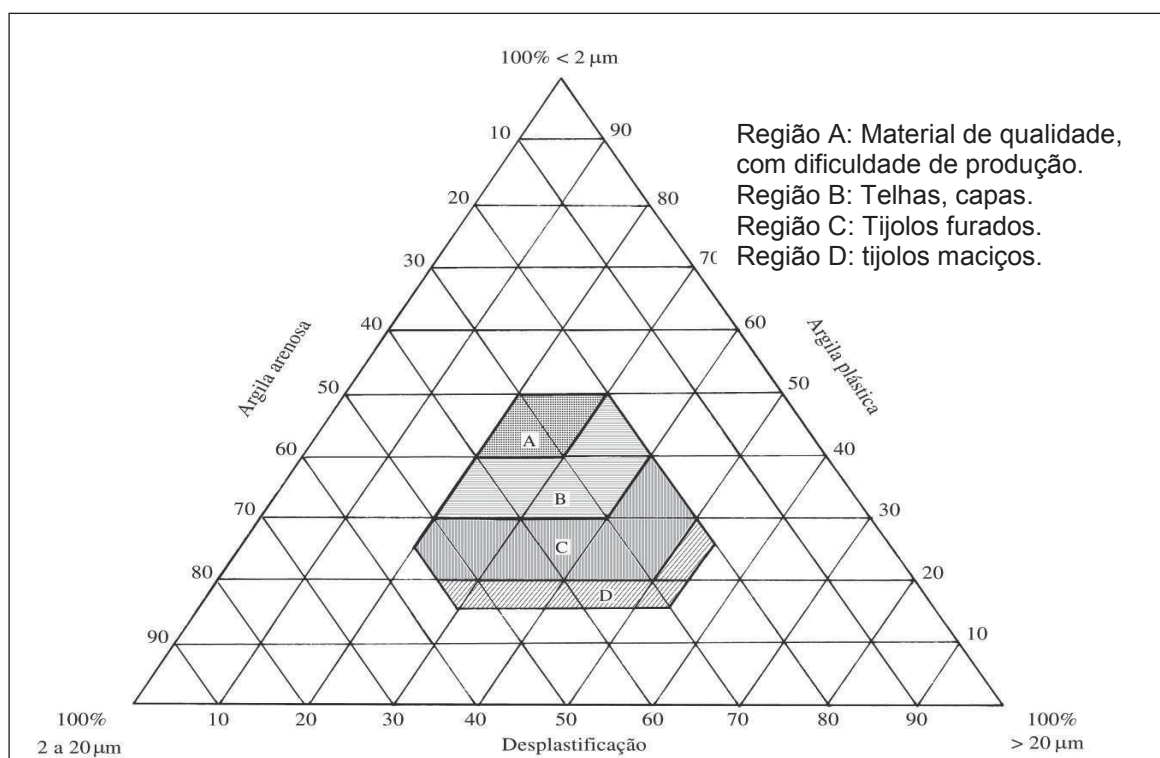


Figura 3.3: Diagrama de Winkler.  
 Fonte: Adaptado de Goes et al., 2014.

O Diagrama de Winkler indica a dosagem de partículas finas, médias e grossas, que possibilitam obter as melhores propriedades no produto final, sugerindo o tipo de produto a partir do posicionamento da massa cerâmica numa das regiões indicadas anteriormente, na Figura 3.3 (RAMOS FILHO et al., 2010). A Tabela 3.4, abaixo, apresenta os intervalos de tamanho de partículas considerados na classificação granulométrica.

Tabela 3.4: Composição granulométrica dos produtos de cerâmica vermelha.

Tipo de Produto	Composição granulométrica (%)		
	2 $\mu$ m	2 a 20 $\mu$ m	20 $\mu$ m
A. Materiais de qualidade com dificuldade de produção	40 a 50	20 a 40	20 a 30
B. Telhas e capas	30 a 40	20 a 50	20 a 40
C. Tijolos furados	20 a 30	20 a 55	20 a 50
D. Tijolos maciços	15 a 20	20 a 55	20 a 55

Fonte: Perez et al., 2004.

Na prática ceramista, observa-se que a utilização da classificação granulométrica da massa é empírica, com base na experiência da rotina ceramista, dificultando a padronização. Muitas vezes, utilizam a mesma massa para fabricar tanto tijolo como telha, o que prejudica a qualidade do produto. Daí, a importância de se preocupar com a formulação de massa (DEVANT et al., 2011), a fim de aperfeiçoar características físico-químicas que melhorem o desempenho na produtividade desses itens, assim como em seu valor agregado.

Monteiro et al. (2004) classificaram as argilas campistas como tipicamente cauliníticas, fato que interfere na perda ao fogo relativamente alta, em alta plasticidade e retração de queima. Estes fatores provocam maior gasto energético no processo de secagem, podendo acarretar defeitos, como trincas, tanto na secagem quanto na queima.

A plasticidade dos solos pode ser determinada utilizando o método de Atterberg. Por meio deste método amplamente empregado, definem-se os limites de liquidez (LL) e plasticidade (LP). Más (2002) explica que a

quantidade máxima que deve ser adicionada à massa é definido por limite de liquidez. O objetivo é não prejudicar sua consistência plástica, com valores definidos entre 30 e 60% no caso de conformação por extrusão (SANTOS, 1989). O limite de plasticidade aponta a quantidade mínima de água para modelar a massa cerâmica. Para o processo de extrusão, são aceitáveis valores de LP entre 15 e 30%. Já Marsigli e Dondi (1997) definem que, para que uma argila tenha um comportamento ótimo na extrusão, o IP deve variar entre 18 e 25%. No que se refere ao índice de plasticidade (IP), que é a diferença entre o LL e o LP, deve ser de, no mínimo, 10%, e no máximo 35%, para não dificultar a conformação por extrusão. Se o valor do IP for menor que 10%, menos consistência plástica terá a massa cerâmica.

Nas argilas campistas estudadas por Monteiro et al. (2004), a plasticidade foi considerada alta, pois as argilas analisadas nos trabalhos citados anteriormente alcançaram Índices de Plasticidade (IP) entre 23 e 44%. Índice de Plasticidade é um critério associado à faixa entre a consistência plástica e líquida da massa argilosa.

Tabela 3.5: Limites de Atterberg das amostras das argilas de Campos dos Goytacazes/RJ.

Argilas	Limites de Atterberg		
	LP (%)	LL (%)	IP (%)
Amarela	29	62	33
Amarela-acinzentada	30	69	39
Cinza	30	64	34
Preta	28	64	36

Fonte: Vieira, 2001.

Na Tabela 3.5 acima, observa-se os valores de IP obtidos no estudo de caracterização das amostras das argilas campistas, realizado no trabalho apontado. É possível constatar o quanto essas amostras encontram-se fora dos valores adequados descritos anteriormente. Fato que acarreta a dificuldade de processamento desses materiais.

Desta forma, percebe-se a necessidade de identificar e conhecer melhor as características das argilas de Campos dos Goytacazes a fim de aperfeiçoar as massas cerâmicas para a produção de itens com maior produtividade e valor agregado. Para tanto, nesta tese, foram utilizadas argilas campistas

comumente utilizadas na cerâmica pareira, acrescidas de resíduo de rochas ornamentais (com grande quantidade de silte em sua granulometria), além de areia, na formulação da massa cerâmica para produção de telhas extrudadas com coloração clara.

O próximo item apresenta os produtos da cerâmica vermelha, com o intuito de destacar a telha, objeto deste trabalho.

### 3.1.3 Produtos da Cerâmica Vermelha

O termo “cerâmica vermelha” se refere aos produtos cerâmicos que apresentam uma coloração avermelhada após a queima. Maia (2012) explica que o tom avermelhado varia conforme a quantidade de óxido de ferro contida na argila, incluindo outros minerais presentes no processamento térmico.

Os produtos da cerâmica vermelha, também chamada de cerâmica estrutural, relatam Souza Jr. et al. (2012), são representados por tijolos, blocos, telhas, tubos, lajes para forro, lajotas, vasos ornamentais, agregados leve de argila expandida e outros.

A Associação Brasileira de Cerâmica classifica os tipos de produtos de cerâmica vermelha, assim como os demais grupos de cerâmica, conforme a natureza de sua matéria-prima e das principais características dos processos de fabricação. A Tabela 3.6, abaixo, apresenta essa classificação.

Tabela 3.6: Classificação dos produtos da cerâmica vermelha.

CLASSIFICAÇÃO		PRODUTO	Matéria-prima							Processo de Conformação				Temperatura de Queima (°C)					
Tipo de Cerâmica	GRUPO/ SETOR		Plástica			Não-plástica				Extrusão	Tornearia	Prensagem	Colagem	800	900	1000	1100	1200	>1200
			Argila Comum	Argila Plástica	Caulim	Feldspato	Filito	Talco	Calcário										
Cerâmica silítica de base argilosa	CERÂMICA VERMELHA	Blocos, laje	P							P									
		Telhas	P				O			P	P								
		Agregado leve	P								P								
P = processo ou composição principal							O = processo ou composição ocasional												

Fonte: Adaptado de Motta et al. (2001).

No caso específico dessa proposta de trabalho, será dada atenção exclusiva às telhas. Essa escolha se dá por ser uma opção de diversificação da produção em Campos dos Goytacazes, visto que a maioria das cerâmicas locais se dedica à produção de tijolos (RAMOS et al., 2006).

Os produtos cerâmicos são caracterizados por possuírem um processo de produção simples, composto por quatro etapas geralmente. Estas etapas influenciam diretamente na qualidade do produto final, por isso merecem atenção. São elas: preparação da massa, conformação da peça, secagem e queima.

A mesma sequência de atividades é utilizada na fabricação de telhas, que podem ser fabricadas através de duas técnicas: conformação por extrusão e conformação por prensagem. Nesta proposta de pesquisa, o método a ser divulgado é por extrusão por se tratar de uma técnica amplamente utilizada na conformação de produtos de cerâmica vermelha, mostrando-se como um processo mais eficiente. A conformação por extrusão possibilita a produção de mais modelagens de telhas, precisando somente trocar a boquilha do equipamento, adaptando os produtos a tendências de mercado. Outra vantagem deste processo é o corte da peça que, neste caso, é feito por lâmina, e não por fio, evitando a rebarba.

### **3.1.4 Conformação de telhas cerâmicas por extrusão**

Esse processo de conformação tem se manifestado com importância na indústria cerâmica, apresentando vantagens potenciais na fabricação de produtos de qualidade. Pureza (2004) relata que a aplicação do processo de conformação por extrusão permite conformar qualquer tipo de matéria-prima com plasticidade natural ou adquirida por aditivos plastificantes.

A técnica de conformação por extrusão está associada a uma alta produtividade, principalmente para produtos de secção transversal constante, onde a homogeneização e a retirada do ar da massa dentro da extrusora têm grande importância para as características finais do produto acabado (RIBEIRO et al., 2003). Os autores explicam que a extrusão consiste na passagem



forçada de uma massa cerâmica plástica por uma boquilha ou saída com determinado formato.

Peçanha Júnior (2006) menciona que a conformação por extrusão se dá ao comprimir uma massa plástica contra um perfil, com o formato desejado. Neckel Junior (2008) complementa explicando que um motor aciona uma bomba de vácuo situada na câmara de extrusão. Esta bomba é responsável por retirar o ar da massa contribuindo para uma boa compactação.

Três sistemas de extrusão são conhecidos e explicados por Pureza (op. cit.):

- i) Pistão: caracteriza-se por grande uniformidade de velocidade e pressão em toda a seção de saída. Contudo, seu fluxo não é contínuo, o que impossibilita o uso de vácuo.
- ii) Cilindros: o sistema de cilindros contém fluxo contínuo de alimentação, podendo utilizar o sistema de desaeração. Apresenta diferenças de velocidade e pressão na seção de saída, não permitindo uma boa homogeneização da mistura.
- iii) Hélice: no sistema de hélices, ocorre boa homogeneização, utilizando sistema de vácuo, fluxo contínuo e boa distribuição de pressão na saída do material. Ao sair da extrusora, a massa moldada é expelida de forma contínua, podendo ser seccionada no comprimento desejado.

O autor citado defende que o mecanismo de extrusão possibilita, a partir de ajustes de pressão e controle de umidade, a obtenção de peças mais densas e de maior resistência. É possível também conformar peças de formato e dimensões variados ao trocar a boquilha de encaixe ao final do eixo de extrusão. Além disso, compreende uma técnica de fácil automação, acarretando elevada produtividade.

A plasticidade da massa é um critério influenciador no processo de extrusão. Peçanha Júnior (op.cit.) relata que uma plasticidade maior gera uma melhor coesão interna das partículas, fazendo a massa deslizar mais facilmente pela máquina. Por outro lado, menor plasticidade prejudica o processo e desgasta mais a máquina.

Macedo (2007, apud SANTOS, 2001) indica um processo de fabricação de produtos cerâmicos, inclusive para telhas, no qual observa-se como as etapas podem ser executadas. A Figura 3.4, a seguir, apresenta este processo por meio de um fluxograma para uma melhor compreensão.

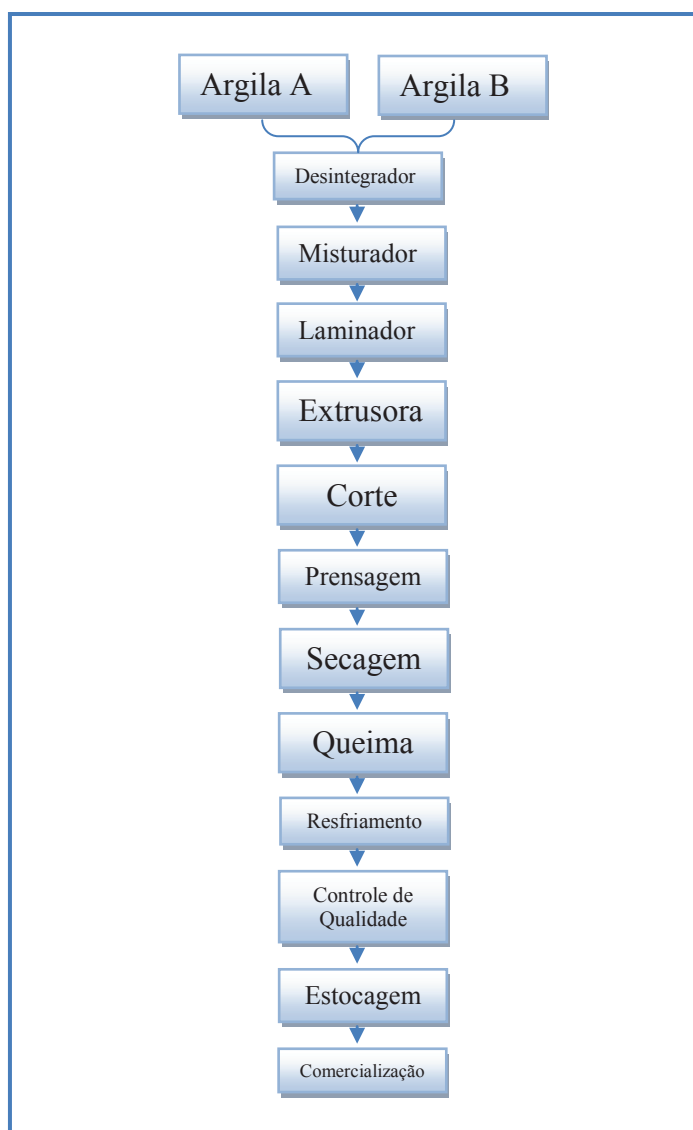


Figura 3.4: Fluxograma do processo produtivo de telhas.  
Fonte: Adaptado de Santos (2001).

No processo representado na Figura 3.4 e descrito por Santos (2001), considera-se que as argilas transportadas das jazidas para os galpões de estocagem, são dosadas conforme as características cerâmicas desejadas para a telha. O transporte é feito por carretas e as argilas e demais matérias-primas são medidas por “conchadas”, as pás das escavadeiras. Posteriormente, as matérias-primas são colocadas numa correia

transportadora, que as descarregam no desintegrador. Desintegrador é um equipamento que tritura os torrões de argila e elimina os pedregulhos, executando uma pré-laminação.

O próximo passo é o misturador, onde adiciona água às matérias-primas até que a massa cerâmica obtenha a umidade e plasticidade adequadas à extrusão. Com a massa cerâmica homogeneizada gradativamente, o estágio seguinte é o laminador. Neste estágio, a mistura recebe um adensamento, eliminando bolhas de ar para ser levada à extrusora.

Na extrusora, conhecida também como maromba, uma rosca interna, impulsiona a massa cerâmica, forçando-a a passar por uma chapa de aço perfurada, lançando-a numa câmara de vácuo.

Da câmara de vácuo, a massa é retirada por outra rosca, que a impele através de uma matriz de aço (boquilha), onde a massa recebe a forma desejada. A barra contínua de material extrudado é cortada manual ou automaticamente, com as dimensões requeridas do produto logo após a saída da extrusora. Assim, obtém-se, então, a telha que é conduzida para a prensagem. Depois de prensada, a telha segue para o processo de secagem. Nesse processo, busca-se reduzir o teor de umidade dos produtos. A secagem pode ser natural ou artificial.

A etapa de queima dá aos produtos cerâmicos suas características finais típicas, como resistência e cor, por exemplo, atingidas por uma série de transformações estruturais e químicas, que ocorrem quando as argilas são submetidas ao calor. A temperatura de queima é da ordem de 900 a 950°C para telhas. O processo de queima é realizado por meio de fornos, como o forno intermitente e o túnel, ilustrados adiante. As operações de queima e secagem são as que consomem a maior parte do combustível utilizado. No resfriamento, o produto permanece no interior do forno para que possa resfriar após a queima. O tempo de resfriamento depende, entre outras coisas, do tipo de produto que foi queimado.

A fase de controle de qualidade é realizada na saída do forno, rejeitando-se o material quebrado, trincado, lascado e/ou queimado em excesso. A inspeção é somente visual. Poucas empresas, porém, retiram amostras dos produtos para testes em laboratórios próprios ou contratados para tal. A estocagem das telhas prontas é feita em área coberta,

permanecendo ali até a comercialização. Algumas empresas já adotam o sistema de embalagem em plásticos e colocação em pallets, facilitando o carregamento e transporte dos produtos.

A fim de tornar o processo de fabricação de telhas cerâmicas mais eficiente, este trabalho sugere que a etapa de prensagem seja eliminada, utilizando uma massa cerâmica com plasticidade/trabalhabilidade ajustadas à etapa de extrusão. Com isso, o fluxograma a seguir apresenta o encadeamento das atividades a serem executadas ao retirar a etapa de prensagem.

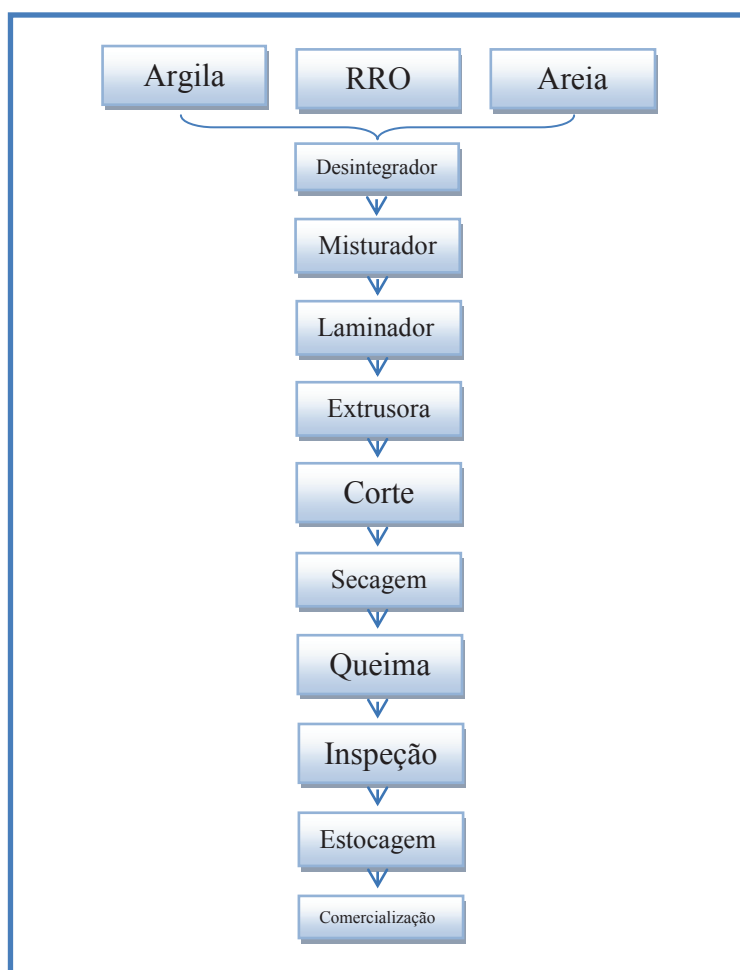


Figura 3.5: Fluxograma do processo produtivo de telhas, eliminando a etapa de prensagem.

Fonte: Elaborado pela autora.

Destaca-se, assim, a importância da preparação da massa como passo crucial para obter uma telha de qualidade, reduzindo perdas e melhorando o desempenho do processo produtivo. Uma massa cerâmica bem preparada

pode gerar benefícios quanto à economia no consumo de energia, à produtividade e redução de deformações nas telhas acabadas.

A seguir, são apresentados alguns modelos dos equipamentos utilizados no processo de fabricação de telhas cerâmicas.



Figura 3.6: Desintegrador.  
Fonte: Página da Mecânica Bonfanti S/A<sup>1</sup>.



Figura 3.7: Misturador.  
Fonte: Página da Mecânica Bonfanti S/A.



Figura 3.8: Laminador.  
Fonte: Página da Mecânica Bonfanti S/A.



Figura 3.9: Extrusora.  
Fonte: Página da Mecânica Bonfanti S/A.



Figura 3.10: Forno intermitente.  
Fonte: Página da Cerâmica Tavares/RN<sup>2</sup>.



Figura 3.11: Forno túnel.  
Fonte: Página da Cerâmica Tavares/RN<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Disponível em <http://www.bonfanti.com.br/ceramica/catalogo.aspx?id=4> – acesso em novembro de 2015.

<sup>2</sup>Disponível em [http://www.ceramicatavares.com.br/?page\\_id=12](http://www.ceramicatavares.com.br/?page_id=12) – acesso em novembro de 2015.

A conformação por extrusão consiste em um processo pouco praticado na produção de telhas em Campos dos Goytacazes. Mesmo porque a região se destaca na produção de tijolos. Porém, há a necessidade mercadológica de diversificar os produtos oferecidos, por meio de processos de produção com menores custos, novas técnicas de gestão e tecnologia. E, por se tratar de um processo de fabricação onde a telha, segundo Custódio et al. (2012), Ribeiro et al. (2003), Pissato (2009), dentre outros autores, adquire maior resistência mecânica, maior coesividade, menor absorção de água, e mais eficiência quanto à densificação do corpo cerâmico, mostra-se interessante a ser investigado.

Para tanto, torna-se favorável a investigação das condições econômicas e financeiras, a fim de se avaliar a viabilidade do investimento no processo de fabricação de telhas cerâmicas por meio da conformação por extrusão.

Todavia, antes de abordar análise da viabilidade econômico-financeira deste processo, é preciso verificar seu desempenho sob condições reais. Dessa forma, o ponto seguinte trata da Simulação de Eventos Discretos, técnica que auxilia na modelagem de sistemas de manufatura.

### **3.2 Simulação de Eventos Discretos**

A técnica de Simulação de Eventos Discretos (SED) foi utilizada com o objetivo de prever o desempenho do processo de fabricação das telhas cerâmicas sob condições reais.

Cabe ressaltar que a SED tem sido cada vez mais utilizada como uma proeminente ferramenta de suporte à decisão. É utilizado para modelar sistemas de manufatura de forma a analisar questões relativas ao layout de fábrica, fluxo de processo, sistemas de manuseio de material, planejamento de capacidade, utilização de mão-de-obra, investimento em novos equipamentos e programação da produção e logística (PORTO et al., 2002; KUEHN, 2006).

Simulação é uma técnica empregada tanto para projetos e avaliação de novos sistemas, como para reconfigurações na operação de sistemas já existentes. Sakurada e Miyake (2009) explicam que a simulação de eventos discretos (SED) abrange o estudo de modelos de simulação cujas variáveis

mudam de estado instantaneamente em pontos específicos de tempo, em contraste ao que ocorre com modelos contínuos, onde as variáveis modificam de estado continuamente no decorrer do tempo.

Na SED, as variáveis de estado se alteram apenas pela ocorrência de eventos, que acontecem instantaneamente em pontos separados no tempo. Bateman et al. (2013) defendem que a simulação é um processo de experimentação com um modelo detalhado de um sistema real para determinar como um sistema responderá a mudanças em sua estrutura, ambiente ou condições de entorno.

A simulação é aplicada de forma a prever, dimensionar e balancear as linhas de montagem de produção (CORREA et al., 2014). Um fator importante que merece ser notado é que a simulação fornece aos tomadores de decisão uma visão sistêmica do processo.

Baptista e Rangel (2013) ressaltam que os ambientes de SED são fáceis de programar e apresentam uma série de recursos, onde o modelo de simulação pode ser elaborado de forma rápida e com alto grau de detalhes do sistema abordado. Com isso, pode-se avaliar as melhores condições operacionais de um processo de produção. Até mesmo, incluindo o compartilhamento de equipamentos e instrumentos de fabricação de outros itens, diversificando a produção.

Rangel et al. (2012) relatam que sistemas discretos no tempo são analisados com alto grau de detalhes, podendo-se avaliar comportamento dinâmico e estocástico com as respectivas regras operacionais de forma visual e descritiva. Os autores supracitados destacam que ambientes de simulação discreta, como o Arena, ProModel e Simul8, são utilizados comumente a nível nacional, com aplicações já comprovadas em diversas situações acadêmicas e reais.

Neste trabalho, optou-se por utilizar o software Arena por ser um simulador genérico e flexível para representar processos produtivos (MEDEIROS et al., 2015). Assim, será buscado um maior controle de condições experimentais a partir do processo real, interagindo ao acompanhar e cronometrar o teste industrial.

### 3.2.1 O Software Arena

O programa Arena é originário da junção de dois outros programas denominados SIMAN e CINEMA. Silva et al. (2007) explicam que o SIMAN é uma linguagem de simulação e, em 1983, deu nome ao primeiro programa de simulação para computadores pessoais (PC's). Os autores relatam também que o CINEMA foi o primeiro programa para animação de simulação em PC's e surgiu em 1984. Este conjunto foi continuamente melhorado e, a partir de 1993, os programas foram unificados em um único software, o Arena. Este programa apresenta um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém todos os recursos para modelagem dos processos, animação, análise estatística e análise de resultados. Une recursos de uma linguagem de simulação à facilidade de uso de um simulador, em um ambiente gráfico integrado. Nesta técnica de simulação, pode ser considerada uma situação onde elementos estáticos, formando um ambiente bem definido com suas regras e propriedades, interagem com elementos dinâmicos, que fluem dentro desse ambiente.

Santos et al. (2014) enumeram as seguintes ferramentas da plataforma de simulação Arena: (1) analisador de dados de entrada; (2) analisador de resultados; (3) analisador de processos. O software Arena é composto por um conjunto de blocos (ou módulos) utilizados para se descrever uma aplicação real e que funcionam como comandos de uma linguagem de programação (SANTOS et al., op. cit.).

Os elementos básicos da modelagem em Arena são as entidades que representam as pessoas, equipamentos, fluxos de atividades, ferramentas, etc., que se movem ao longo do sistema; as estações de trabalho que demonstram onde será realizado algum serviço ou transformação; e, por fim, o fluxo que representa os caminhos que a entidade irá percorrer ao longo das estações (MEDEIROS et al. 2014).

A proposta do uso da SED, por meio do Arena, servirá para verificar o comportamento do processo em estudo, relacionando indicadores de desempenho. Desta forma, é possível identificar gargalos na produção, melhores condições de operação, visualizando tamanhos de filas e ocupação dos recursos, dentre outros fatores.



Assim, o processo de fabricação de telhas cerâmicas por meio da conformação por extrusão poderá ser modelado através de blocos e “caixas”, representando o fluxo das atividades a serem executadas. A visualização do fluxograma da operação produtiva possibilita a visibilidade do processo como um todo, auxiliando no diagnóstico e resolução de desvios.

Aragão (2011) propõe a simulação do processo de fabricação de telhas por meio da conformação por prensagem, comumente utilizado em Campos dos Goytacazes/RJ. Em seu trabalho, o autor descreve a produção como é praticada através do fluxograma apresentado logo abaixo.

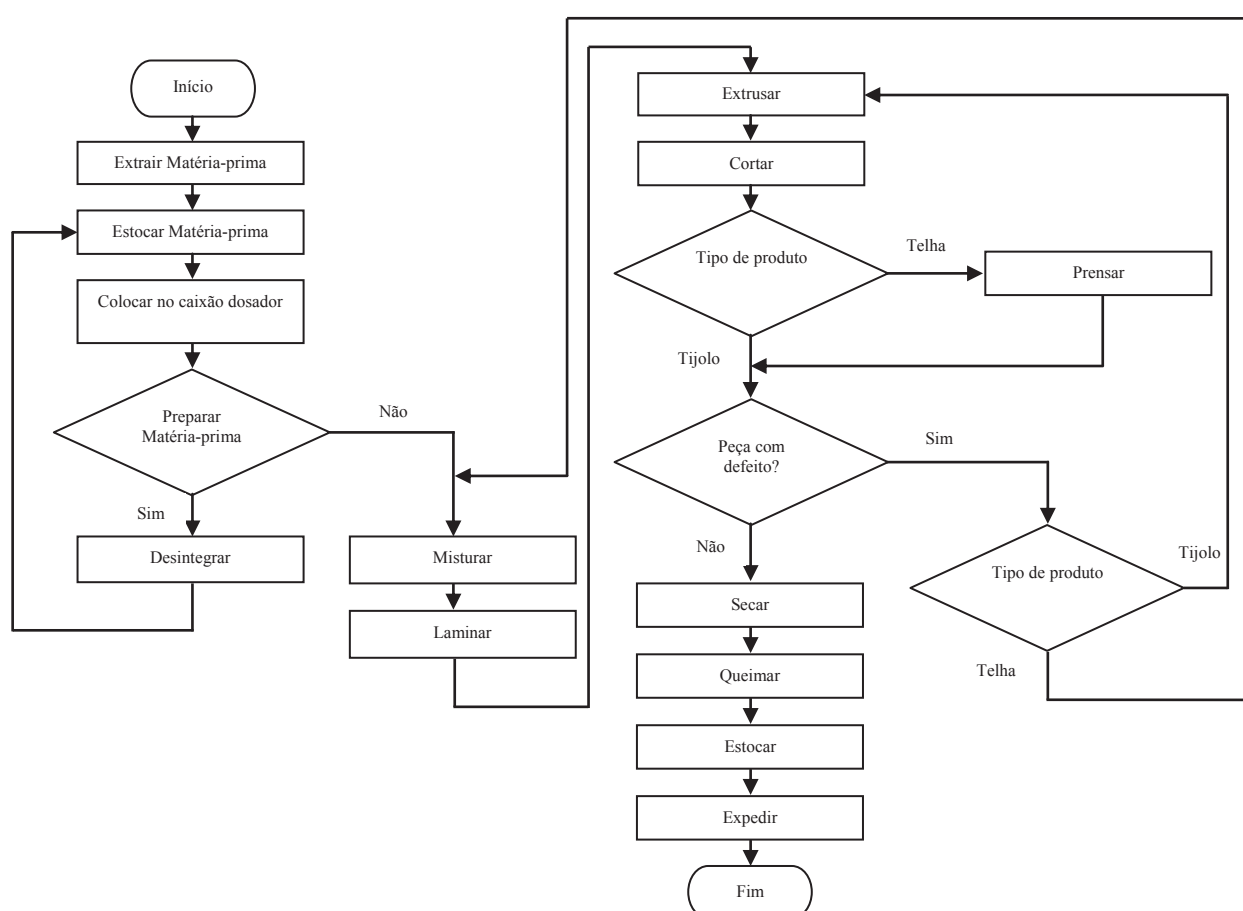


Figura 3.12: Fluxograma do processo produtivo de cerâmica vermelha.  
Fonte: Aragão (2011).

Através desse fluxograma, na Figura 3.12, visualiza-se a interação entre as atividades a serem executadas e as possibilidades de retrabalho. Nesta proposta de pesquisa, quanto à modelagem do sistema produtivo, a proposta é descrever o processo cerâmico, oportunizando uma maior reflexão sobre as

atividades. Ressalta-se, ainda, a retirada da etapa de prensagem da telha a fim de verificar se compensa econômica e financeiramente o procedimento fabril em estudo.

O próximo item trata de descrever alguns métodos de análise econômico-financeira. Pretende-se utilizar uma metodologia capaz de abordar as condições locais da indústria cerâmica de Campos dos Goytacazes/RJ, juntamente com os fatores de produção inerentes ao processo de fabricação de telhas cerâmicas extrudadas de coloração clara.

### **3.3 Métodos de Análise Econômico-Financeira**

A literatura que trata de avaliação econômico-financeira defende que todas as decisões de investimento devem ser pautadas na premissa de criação de riqueza (valor) aos investidores e partes interessadas. Para tanto, os investimentos são aceitos à medida que o retorno marginal de cada unidade monetária empregada é maior que o seu custo de captação (MONTORO et al., 2012).

Um estudo de viabilidade econômico-financeira se torna bastante amplo e complexo por considerar muitas variáveis e métodos de análise. Novos projetos de investimentos podem ser estratégias na tomada de decisão em busca de tornar a empresa mais competitiva e correspondente às exigências e tecnologias do mercado (CASAROTTO e KOPITTKKE, 2007). Portanto, a fim de amparar a decisão de investir em novos projetos, é necessário realizar uma análise, visando minimizar os riscos do investimento.

A noção de riscos pode estar associada às perdas ou possibilidades de danos. Porém, Bruni (2008) explica que riscos representam possibilidades de dispersão acerca de um retorno esperado, seja essa dispersão positiva ou negativa. Além disso, Marshall (2002) diferencia riscos de incerteza quando aponta que os riscos se aplicam a resultados que, embora não certos, tenham probabilidades que possam ser estimadas pela experiência ou por dados estatísticos. Enquanto a incerteza está presente quando o resultado não pode ser previsto, nem mesmo num sentido probabilístico.

Gaudard et al. (2012) desenvolvem o assunto ao dizer que, para mensurar o risco, é utilizada uma medida estatística, o desvio-padrão, medindo a dispersão dos valores individuais de retornos em torno de uma média. Sendo assim, quanto maior for o desvio-padrão, maior será a dispersão das expectativas e, conseqüentemente, maior será o risco do investimento.

A partir do entendimento do conceito de riscos, são apresentados a seguir os principais métodos tradicionais de avaliação de investimentos.

### 3.3.1 Tempo de Retorno do Investimento – Payback

O método do payback, bastante aplicado na prática por ser mais simples, é denominado como o tempo de retorno do investimento ou empréstimo. Ou seja, a quantidade de períodos que se leva para recuperar o investimento ou o tempo necessário para se atingir o ponto de equilíbrio deste, calculado com suas entradas de caixa.

Schaicoski (2002) define payback como o período de recuperação de um investimento e é também chamado de payout. Consiste na determinação do prazo de recuperação do montante do capital investido, por meio de fluxos de caixa gerados pelo investimento. Ou seja, pode-se dizer que o payback representa o período em que os valores dos fluxos de caixa negativos, que correspondem aos investimentos, são anulados pelos respectivos valores dos fluxos de caixa positivos, que correspondem aos retornos.

Segundo o autor supracitado, o payback é calculado pela seguinte relação:

$$\text{Payback} = \text{Investimento Inicial} / \text{Ganho no período} \quad (1)$$

Conforme Motta & Calôba (2009), o payback é um indicador utilizado para avaliar a atratividade de um investimento e, como tal, não deve ser considerado isoladamente. Entretanto, a sua análise combinada com outros indicadores pode resultar em informações importantes para a seleção de

alternativas de investimento, como a relação entre o valor e o tempo de retorno dos investimentos.

Segundo Gitman (2010), o payback é calculado a partir dos fluxos de entrada de caixa, possibilitando assim analisar em quanto tempo os investimentos inicialmente propostos irão retornar para a empresa. Ou seja, fornece o cálculo do período de tempo que a empresa terá para obter retorno do capital investido.

Existem diversas formas de payback, continua Schaicoski (op.cit.). Dentre elas, o payback original (ou efetivo); o payback descontado; e o payback total. O primeiro é aquele em que o prazo de recuperação corresponde ao somatório dos valores dos fluxos de caixas negativos com os valores de fluxo de caixa positivo, sem levar em conta o “valor do dinheiro no tempo”. Como o período de payback é o tempo necessário para se recuperar o investimento feito, nota-se que se deve trazer de volta ao caixa da empresa cada uma das entradas previstas para cada ano.

O payback descontado considera a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) como taxa de desconto para a determinação do prazo de recuperação do capital investido e pode ser utilizada uma taxa de desconto para os fluxos de caixa de cada período. O período de payback descontado traz todos os fluxos de caixa ao mesmo momento de tempo (a valor presente), buscando incorporar o conceito do valor do dinheiro no tempo (ASSAF NETO e LIMA, 2014).

Para calcular o payback descontado, deve-se trazer cada uma das entradas de caixa a valor presente, descontando estes fluxos a uma taxa de juros que represente a atratividade mínima exigida pela empresa na aceitação do projeto. Assim, o payback descontado (para um período de tempo) é calculado da mesma forma que o payback original, só que utilizando os fluxos de caixa descontados.

$$FCD = FCO / (1 - TMA) \quad (2)$$

Onde: FCD = fluxo de caixa descontado

FCO = fluxo de caixa operacional

TMA = taxa mínima de atratividade

Por último, o payback total utiliza, além do fluxo descontado à TMA, os fluxos existentes após o período de recuperação. Esta última forma representa um período de equilíbrio ao longo de todo o período do projeto.

Brealey et al. (2013) explicam que o tempo de retorno obtido usando o payback é calculado pelo número de anos em que os fluxos de caixa estimados necessitam para se igualarem ao montante do investimento inicial despendido.

Esse método do período de recuperação possui vantagens e desvantagens. Uma das principais vantagens é que o método é simples de usar, não sendo necessário elaborar cálculos complicados para se chegar à quantidade de períodos em que se dará a recuperação do investimento inicial. A desvantagem principal é que não considera integralmente o valor do dinheiro no tempo, ignorando as particularidades de ganho/perda de cada período da análise. Há também a limitação na fixação do prazo-padrão ideal para o retorno do investimento (ASSAF NETO; LIMA, 2014). Além disso, o método não leva em consideração as entradas de caixa que são produzidas após o período em que o investimento inicial teve sua recuperação. (GROPELLI; NIKBAKHT, 2010).

Para Gitman (2010), o método payback trata de um critério de liquidez e não de rentabilidade, pois não reflete o comportamento do projeto após a recuperação do capital investido. O autor mencionado sugere aplicar os fatores apresentados na Figura 3.13, a seguir, ao utilizar o período de payback, a fim de orientar a decisão de investir.

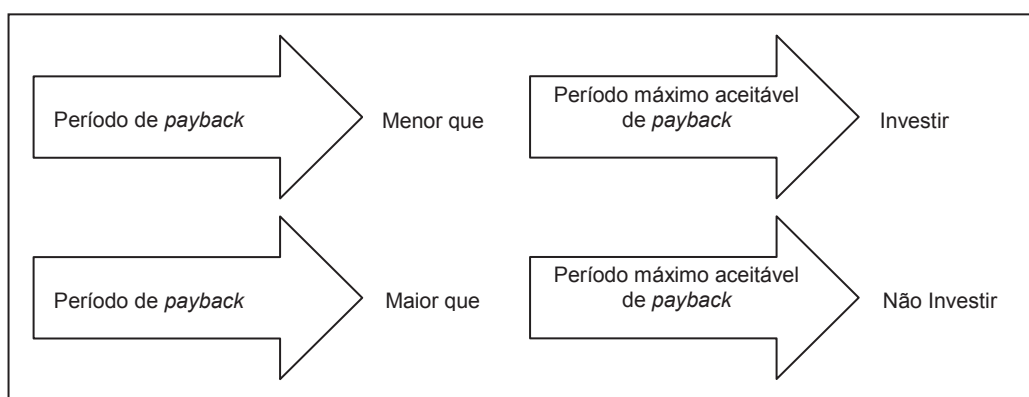


Figura 3.13: Fatores de decisão para investir.  
Fonte: Adaptado de Gitman (2010).

Ainda segundo Gitman (op. cit.), a duração máxima do período aceitável é definida pela direção da empresa/investidor, sendo que esse valor é fixado com base em vários fatores, inclusive o tipo de investimento. Pode ser um investimento de expansão, substituição, renovação ou outros tipos quaisquer, tratando-se simplesmente de um valor que a direção acredita que resultará nas decisões de investimento geradoras de valor.

### **3.3.2 Valor Presente Líquido (VPL)**

O Valor Presente Líquido (VPL) apresenta-se como um dos métodos mais utilizados pela engenharia econômica, sendo de grande valia para avaliar investimentos. Seu intuito é fornecer qual seria o ganho monetário que se teria na realização de investimento a uma determinada taxa de juros. O VPL é um dos métodos mais apropriados porque reconhece o valor dos benefícios trazidos a valor presente, descontando-se o valor presente das despesas.

Rebelatto (2004) explica que o VPL de um projeto de investimento compreende um valor atual das entradas de caixa (retornos de capital esperados), incluindo o valor residual (se houver) subtraindo o valor atual das saídas de caixa (investimentos realizados).

Dinsmore (2007) explica que este método considera o fluxo de caixa descontado, no qual o valor presente dos benefícios (receitas) é subtraído do valor do investimento no projeto. Um valor resultante positivo pode indicar que o investimento será recuperado. Um valor negativo, por sua vez, pode indicar o contrário e o investimento deverá ser descartado.

O valor presente líquido é dito como uma técnica sofisticada para a análise de investimentos por considerar explicitamente o valor do dinheiro no tempo. Este tipo de técnica, de uma forma ou de outra, desconta os fluxos de caixa de uma empresa a uma taxa especificada. Essa taxa pode ser chamada de taxa de desconto – taxa de juros aplicada sobre valores futuros –, custo de oportunidade de capital ou custo de capital (GITMAN, 2010).

O respectivo autor (op. cit.) relata que o VPL é obtido subtraindo-se o investimento inicial de um projeto ( $FC_0$ ) do valor presente de suas entradas de

caixa ( $FC_t$ ), descontadas a uma taxa igual ao custo de capital da empresa ( $i$ ). Calculado pela seguinte função:

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - FC_0 \quad (3)$$

Onde:

$FC_0$ : fluxo de caixa verificado no momento zero (momento inicial), podendo ser um investimento, empréstimo ou financiamento;

$FC_t$ : representa o valor de entrada (ou saída) de caixa previsto para cada intervalo de tempo;

$i$ : é a taxa de desconto;

$n$ : período de tempo.

Brealey et al. (2013) apontam que a diferença entre o valor de um projeto e seu custo é o VPL. E como critério de decisão de investimento, após o cálculo do VPL, sugere:

Se o  $VPL > 0$ : aceita-se o investimento, pois adiciona valor à empresa;

Se o  $VPL < 0$ : rejeita-se o investimento, por destruir o valor da empresa;

Se o  $VPL = 0$ : é indiferente investir ou não, pois o projeto não cria valor econômico.

Levando em conta duas ou mais alternativas, opta-se pela de maior VPL positivo. O VPL torna-se um bom indicador para avaliação de investimento, no caso de valores excludentes ou por restrição de capital, pois revela o quanto a empresa/investidor pode ganhar. Valor representado no próprio VPL (OLIVEIRA, 2008).

Para Assaf Neto e Lima (2014), a medida do VPL é obtida pela diferença entre o valor presente dos benefícios líquidos de caixa, previstos para cada período do horizonte de duração do projeto, e o valor presente do investimento (desembolso de caixa).

Faria (2015) menciona que VPL é a soma algébrica dos custos e dos benefícios líquidos do projeto durante sua vida econômica, trazidos à data de atualização do fluxo de caixa. Para tanto, a taxa de desconto utilizada é a taxa

mínima de atratividade do segmento de negócio, em virtude dos diferentes riscos próprios do negócio a ser considerado.

Assaf Neto e Lima (op.cit.) explicam que o VPL exige a definição prévia da taxa de desconto a ser utilizada nos vários fluxos de caixa. Assim, ao descontar todos os fluxos de entradas e saídas de caixa de um investimento por uma taxa de desconto mínima aceitável pela empresa, o VPL expressa, em última análise, o resultado econômico atualizado. Desta forma, indica se houve aumento da riqueza da empresa.

Os autores supracitados esclarecem que VPL positivo significa que a atualização dos benefícios supera a dos custos estimados. Denota também que o montante representa o que a instituição estará acrescentando ao seu patrimônio ao realizar o projeto. Portanto, é o ganho esperado adicional à remuneração obtida pela aplicação dos recursos à taxa de desconto.

Além disso, Gropelli e Nikbakht (2010) defendem que o método do VPL tem três vantagens que são muito importantes. Primeiro, ele usa os fluxos de caixa no lugar dos lucros líquidos. Em segundo lugar, o método reconhece o valor do dinheiro no tempo. A terceira vantagem é que, aceitando somente os projetos com VPL positivo, a organização aumentará também o seu valor, significando um aumento no peso das ações ou na riqueza dos acionistas.

De acordo com Brealey et al. (2013), como características-chave do VPL, tem-se: (1) depende unicamente dos fluxos de caixa estimáveis do projeto e do custo de oportunidade do capital, sem considerar preferências e subjetividades; (2) os valores presentes são quantificados em moeda atual, logo podem ser somados. Esta segunda característica, chamada de propriedade da aditividade, destaca-se, já que alguns métodos de avaliação financeira não a possuem. Os autores sustentam, ainda, que o VPL é um método objetivo e independente de preferências do gestor, métodos contábeis ou outros aspectos influenciadores.

Da mesma forma, Harzer et al. (2014) defendem que o VPL não é sensível às múltiplas mudanças de sinal do fluxo de caixa e partem do princípio de que seus fluxos positivos intermediários de caixa são reinvestidos pelo próprio custo de capital. Portanto, torna-se uma hipótese mais realista.

Porém, por outro lado, os mesmos autores destacam como desvantagem o fato do VPL ser altamente sensível à taxa de desconto. Não há



consenso sobre qual taxa é a mais adequada. Ela pode variar de uma simples taxa livre de risco, ou quase, utilizada nas aplicações financeiras de baixo risco, como também pode ser o custo médio ponderado de capital da empresa, entre outras formas de se obter a taxa mínima de atratividade (TMA) do investimento (HARZER et al., 2014).

### **3.3.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)**

Balarine (2003) declara que a Taxa Interna de Retorno (TIR), também conhecida como IRR (Internal Rate of Return), corresponde à taxa de desconto que, aplicada a uma série de entradas e saídas de caixa, iguala o fluxo de caixa a zero. Portanto, a TIR também deriva do modelo do fluxo de caixa descontado.

Lima (2014) explica que a TIR é um indicador da rentabilidade do projeto, e deve ser comparada à taxa mínima de atratividade (TMA) do investidor. Como definido anteriormente, a TMA representa o mínimo que um investidor se propõe a ganhar quando faz um investimento, ou seja, a taxa a partir da qual o investidor considera que está obtendo ganhos financeiros. Uma proposta de investimento, para ser considerada aceitável economicamente, deve render, no mínimo, esta taxa de juros.

Silva et al. (2014) destacam que a TIR é um índice que indica a rentabilidade de um investimento por uma unidade de tempo e corresponde à taxa de desconto que iguala o VPL de um investimento a zero. Os autores supracitados continuam ao explicar (apud. MOTTA e CALÔBA, 2009) que a TIR é a taxa composta de retorno anual que a instituição poderia obter se efetivasse o investimento e recebesse as entradas de caixa estimadas. Desta forma, caso a TIR seja maior que o custo de capital, ou maior que a TMA, deve-se efetuar o investimento. Caso contrário, se a TIR for menor que o custo de capital ou que a TMA, é melhor descartar o investimento.

Assim:

Se  $TIR > TMA$ : o investimento é viável;

Se  $TIR < TMA$ : o investimento não é viável;

Se  $TIR = TMA$ : é indiferente optar pelo investimento.

Portanto, esclarecem Brigham e Ehrhardt (2011), se a TIR exceder o custo de capital utilizado para o investimento, um excedente permanecerá após o pagamento pelo uso do capital, e esse excedente pertencerá aos acionistas da empresa, aumentando, pois, sua riqueza. Do contrário, se a TIR for menor, haverá um custo aos acionistas, o que os levaria a rejeitar o investimento.

Matematicamente, a TIR é obtida ao resolver a equação do VPL (OLIVEIRA, 2008):

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - FC_0 \quad (3)$$

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} - FC_0$$

$$FC_0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} \quad (4)$$

Faria (2015) comenta que os desembolsos da empresa (valores negativos) para empreender um investimento são um empréstimo a ser pago posteriormente com as receitas provindas dos valores positivos oriundos do mesmo investimento. Nesse sentido, a TIR é a taxa de retorno implícita no fluxo de caixa, que depende da relação entre os valores positivos e negativos, igualando desembolsos às receitas. Assim, torna o VPL igual a zero.

Complementando, Brealey et al. (2013) apontam que a TIR é a taxa média que considera toda a vida econômica do investimento e é expressa em termos do tipo de período configurado para o fluxo de caixa. Já Harzer et al. (2014) descrevem que, ao considerar a TIR como medida de rentabilidade de um investimento, por definição, assume-se que os recursos liberados pelos fluxos de caixa são reinvestidos à própria TIR.

Para Souza e Clemente (2009) é um engano referir-se à TIR como a rentabilidade do projeto, já que a melhor alternativa de aplicação para os recursos liberados pelo projeto é a TMA, considerada como uma taxa de aplicação com baixo grau de risco. Por outro lado, a TIR tem como vantagem ser uma taxa e não um valor absoluto, podendo ser vista como uma medida útil da eficácia de um investimento (HARZER et al., op. cit.)

Conforme as características do fluxo de caixa do investimento, a TIR pode apresentar algumas desvantagens. Por exemplo, podem existir múltiplas TIR's quando se tem mais de uma mudança de sinal no fluxo de caixa ou mais de uma raiz na equação do fluxo de caixa, dificultando a escolha da TIR ideal. No caso de múltiplas TIR's positivas, normalmente se adota a menor TIR positiva como estimativa da taxa de retorno do investimento, que pode não ser a adequada às oportunidades do momento (GITMAN, 2010).

Gitman (op. cit.) explica que, como o método da TIR supõe que os fluxos de caixa recebidos durante o investimento são reinvestidos à taxa da TIR, classificações dos investimentos podem ser conflitantes. Ou seja, se TIR é utilizada a fim de priorizar a escolha por investimentos, nem sempre a alternativa de maior TIR seria a de maior VPL. Isto porque a TIR não acompanha a oportunidade de capital da situação respectiva.

Neste sentido, Assaf Neto e Lima (2014) concluem que o desempenho de um investimento é dependente não somente das projeções de caixa, mas também de sua taxa de reinvestimento. Cenários econômicos recessivos, mesmo que não exerçam influências sobre os resultados de caixa do projeto, podem reduzir sua taxa de retorno diante de oportunidades menos lucrativas de reinvestimentos. Ao contrário, em momentos de expansão econômica, os investimentos demonstram maior atratividade determinada pelas melhores condições conjunturais de reaplicação os fluxos intermediários de caixa.

Para tentar sanar essa desvantagem da TIR, um artifício de cálculo pode ser utilizado. Trata-se da TIR modificada (TIRM), explicada a seguir.

#### **3.3.4 Taxa Interna de Retorno Modificada (TIRM)**

Silva (2011) aponta que, tendo em vista as deficiências apresentadas pela TIR, este método foi alterado resultando na taxa interna de retorno modificada (TIRM). Buscou-se eliminar os problemas de TIR's múltiplas em projetos não convencionais e do pressuposto da taxa de reinvestimento diferente das taxas de mercado. Sampaio Filho (2008) complementa ao afirmar que o cálculo da TIRM é uma versão melhorada do método da TIR, visando

eliminar os problemas matemáticos decorrentes da possibilidade de existência de raízes múltiplas.

Ainda referenciando Silva (op. cit.), (apud DAMODARAN, 2004) pode-se considerar a TIRM como uma taxa híbrida, visto que é uma mistura do VPL, que capitaliza os fluxos de caixa intermediários ao custo de capital, e do método da TIR. Desta forma, a sugestão é levar os resultados do fluxo de caixa a valores futuros pela TMA. Posteriormente, calcula-se a TIRM, que seria a taxa necessária para igualar esse valor futuro ao investimento inicial.

Sampaio Filho (op. cit.) explica que, para a obtenção da TIRM, os fluxos de caixa intermediários negativos são trazidos a valor presente, com uma taxa de desconto compatível com as do mercado. E os fluxos intermediários positivos são levados a valor futuro no último período do fluxo de caixa, a partir de uma taxa de reinvestimento adequada com as praticadas no mercado. Com todos os valores do fluxo de caixa concentrados no instante zero e no período final, o cálculo da taxa interna de retorno se torna fácil e direto a partir da aplicação da fórmula de juros compostos. A fórmula a seguir apresenta essa relação.

$$TIRM = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t(1+i)^{n-t}}{(1+TIRM)^t} \quad (5)$$

Utilizando o cálculo da TIRM, os fluxos de caixa do investimento são reinvestidos a uma taxa explícita, geralmente o custo de capital. Já no cálculo da TIR, descrito anteriormente, o reinvestimento dos fluxos de caixa é feito à própria TIR. A TIRM torna-se um indicador da verdadeira taxa de rentabilidade do investimento, entendendo que o reinvestimento ao custo de capital é mais correto, além de resolver o problema de múltiplas TIR's (BRIGHAM e EHRHARDT, 2011). Oliveira (2008) complementa ao afirmar que o cálculo da TIRM considera tanto a taxa de aplicação de recursos “ociosos” (i), como a taxa correspondente ao custo de captação (custo financeiro) – TIR.

Desta forma, a TIRM mostra-se como uma taxa de retorno do investimento mais realista, além da vantagem de interpretação dos resultados na forma de taxa, possibilitando a comparação com taxas de mercado. Porém, é preciso ressaltar que, apesar da superioridade da TIRM sobre a TIR, o

método do valor atual líquido (VPL) continua sendo o mais correto para a tomada de decisão, dentre os métodos apresentados. Afinal, oferece um indicador de quanto cada projeto poderá aumentar o valor da empresa (BRIGHAM e EHRHARDT, op. cit.).

Lima Júnior e Aldatz (2013) relacionam como vantagens ao utilizar a TIRM o fato da técnica expressar uma medida de rentabilidade que possibilita uma comparação mais fácil com outros investimentos da mesma forma que a TIR, com um ponto positivo, que é a composição adequada de uma única taxa de retorno para todo e qualquer tipo de fluxo ao longo do tempo, seja de entrada ou saída. Como o ponto negativo, está a baixa utilização no mercado.

### **3.3.5 Índice de Lucratividade (IL)**

Sobre IL, Gropelli e Nikbakht (2010) afirmam que, esse método demonstra a relação entre o valor presente das entradas líquidas de caixa e o investimento inicial, para isso utiliza uma taxa mínima de atratividade (TMA). Assim, sempre que o índice de lucratividade apresentar valor superior ao investimento inicial, o projeto de investimento será considerado rentável.

Silva (2011) reforça que o IL, ou índice benefício-custo, fornece, através do quociente entre as entradas e saídas líquidas de caixa, uma medida do retorno esperado por unidade monetária investida. Vilela et al. (2012) defendem que o cálculo do índice de lucratividade (IL) merece destaque pois tem como especificidade indicar quanto o projeto oferece de retorno para cada unidade investida.

Já Souza Júnior et al. (2012) explicam que este critério de avaliação de investimentos busca estabelecer uma relação entre o valor presente das entradas líquidas do projeto e o investimento inicial. E, conforme Lima Junior e Aldatz (2013), o IL é traduzido no somatório dos valores presentes dos fluxos de caixa futuros, dividido pelo investimento inicial. Em resumo, assim como a TIR e o VPL, o IL é um método baseado em fluxos de caixa descontados, proporcionando uma medida aproximada do valor atual que a empresa pode obter por cada unidade monetária investida.

Silva (op. cit.) esclarece que, quando o IL for maior ou igual a 1, o investimento deverá produzir benefícios monetários superiores ou iguais às saídas de caixa, devendo-se aceitar o projeto. Por outro lado, se o IL for menor que 1, deve-se rejeitar o projeto. A fórmula abaixo apresenta como calcular o IL:

$$\text{Índice de Lucratividade} = \frac{\text{Valor atual das entradas líquidas de caixa}}{\text{Valor atual das saídas líquidas de caixa}} \quad (6)$$

De forma mais detalhada, a autora referenciada continua (apud. LAPPONI, 2000) explicando que:

Se  $IL > 1$ : para cada \$1 de investimento, o valor atual dos retornos gerados pelo projeto será maior que \$1; o investimento será recuperado, remunerado com a taxa mínima requerida, gerará lucro igual a  $$(IL - 1)$  para cada \$1 de investimento e o valor atual do projetos será maior que zero;

Se  $IL = 1$ : para cada \$1 de investimento, o valor atual dos retornos gerados pelo projeto será igual a \$1; o investimento será recuperado e remunerado com a taxa mínima requerida, entretanto, o valor atual do projeto será igual a zero;

Se  $IL < 1$ : para cada \$1 de investimento, o valor atual dos retornos gerados pelo projeto será menor que \$1; o projeto gerará prejuízo igual a  $$(1 - IL)$  para cada \$1 de investimento e o valor atual do projeto será menor que zero.

Com isso, Souza Júnior et al. (2012) complementam ao definir que o IL constitui um parâmetro que apontará ao investidor qual o retorno adicional advindo de seu empreendimento para cada unidade monetária empregada. Assim, esta medida proporciona uma nova interpretação de retorno, através do esclarecimento da quantidade de vezes que o investimento inicial será multiplicado (PENA et al., 2011). A partir disso, o investidor também pode decidir até que medida é interessante investir.

Lima Junior e Aldatz (2013) indicam que o IL pode ser determinado a partir da equação a seguir, que demonstra o índice de lucro do projeto, obtido pela relação entre os fluxos de caixa positivos  $FC_t$  a valor presente e o fluxo de

caixa negativo no momento inicial. Os fluxos de caixa positivos são corrigidos também a uma taxa mínima exigida  $k$ .

$$IL = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t}}{CF_0} \quad (7)$$

Os autores mencionados ressaltam que, dentre as vantagens da utilização do índice de lucratividade, estão: (i) facilidade de cálculo e de interpretação; (ii) aplicação pode ser feita a qualquer tipo de fluxo de caixa; e, (iii) leva em consideração o valor do dinheiro no tempo. Como desvantagem, está o fato de representar, em equivalência, o mesmo resultado que o VPL.

### **3.3.6 Retorno Adicional Sobre o Investimento (Return On Investment Additional – ROIA)**

Guedes (2011) declara que o Retorno sobre o Investimento – ROI – é um indicador usado pelo mercado que permite medir o desempenho dos retornos financeiros passados e subsidiar decisões de investimentos futuros. Consiste numa ferramenta que quantifica o retorno produzido pelas decisões de investimentos e avalia a atratividade econômica dos mesmos. Essa técnica é usada como parâmetro para avaliar o desempenho de uma empresa ou o retorno financeiro gerado, em um período de tempo preestabelecido, por um determinado investimento (GALLON et al., 2006).

O método ROI pode ser aperfeiçoado ao considerar a melhor medida de rentabilidade gerada pelo investimento acima da TMA, denominado, nesse caso, de ROIA – Retorno Adicional sobre o Investimento. Souza Júnior et al. (2012) defendem que o ROIA é a melhor estimativa de rentabilidade para um projeto de investimento. É a riqueza gerada pelo investimento, em termos percentuais e é observado a partir do cálculo do IL.

Pena et al. (2011) explicam que o valor obtido do ROIA pode ser comparado paralelamente à TIR, pois sua interpretação é realizada anualmente. Portanto, uma resposta mais realista sobre o percentual de

ganhos pode ser observada ao ser comparada ao investimento inicial do empreendimento.

Souza e Clemente (2009) expõem que o ROIA é a metodologia que permite ser utilizada tanto para decidir investimento como para acompanhar o desempenho deste. Dessa forma, pode-se afirmar que o ROIA, que deriva da taxa equivalente ao Índice Benefício/Custo (IBC), para cada período do projeto, é semelhante ao percentual obtido através do conceito de Valor Econômico Agregado (EVA). EVA, por sua vez, retrata o valor adicional que bens, serviços, ou processos produtivos, podem adquirir após o incremento de um investimento, ou aperfeiçoamento tecnológico, reforçam os autores citados.

Para o cálculo do ROIA, Souza Júnior et al. (2012) apresentam a fórmula a seguir, que relaciona os fluxos previstos de entrada de caixa no progresso do investimento (FV) e fluxos atualizados (PV), sendo *n* o prazo do investimento.

$$ROIA = \sqrt[n]{\frac{FV}{PV}} - 1 \quad (8)$$

Guedes (2011) ressalta que o método ROIA, assim como o Payback e o VPL, utiliza fluxos de caixa descontados para aferir o valor do investimento. Como desvantagem, destaca que sua técnica de avaliação não aborda as opções reais do mercado no investimento. Muito menos, oferece flexibilidade de rentabilidade na condução e avanço do mesmo.

Os métodos de análise econômico-financeira descritos até o momento estão fundamentados em análises determinísticas, com base em estimativas de valores esperados das variáveis do investimento e seu fluxo de caixa. Nestes métodos, a incerteza inerente ao investimento é representada somente pela taxa de desconto ajustada ao risco.

A Tabela 3.7, adiante, resume as vantagens e desvantagens dos métodos descritos até aqui, a fim de oferecer uma compreensão das respectivas limitações.



Tabela 3.7: Vantagens e desvantagens dos métodos de análise de investimento.

<b>Método</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Payback</b>	Aplicação fácil e simples; Apelo intuitivo; Considera o fator tempo na decisão; Fácil interpretação; Pode ser visto como medida de risco do projeto; Pode ser visto como uma medida de liquidez.	Não considera o valor do dinheiro no tempo; Período máximo aceitável é determinado com certo grau de subjetividade; Fator tempo é considerado implicitamente; Não considera todos os capitais do fluxo de caixa; Não é uma medida de rentabilidade do investimento.
<b>VPL</b>	Informa o aumento ou não do valor da empresa; Considera o custo de capital; Considera o risco embutido no custo de capital e através dele são analisados todos os fluxos de caixa originários do projeto.	O resultado é dado em valor monetário dificultando a análise do projeto; Depende da determinação da taxa mínima de atratividade ou custo de capital.
<b>TIR</b>	O resultado é uma taxa de juros, facilitando a análise.	Essa taxa pode ser sub ou superestimada; Necessidade de outro método de avaliação, normalmente o VPL.
<b>TIRM</b>	Indicador da verdadeira taxa de rentabilidade do investimento; Interpretação dos resultados na forma de taxa.	Baixa utilização no mercado.
<b>IL</b>	Facilidade de cálculo e de interpretação; Aplicação pode ser feita a qualquer tipo de fluxo; Considera o valor do dinheiro no tempo; Permite saber se o investimento será recuperado.	Representa, em equivalência, o mesmo resultado que o VPL.
<b>ROIA</b>	Proporciona consistência tanto no planejamento como no controle na avaliação do desempenho.	Crítérios para definir ajustes, taxa de custo de oportunidade são subjetivos; Implementação complexa; Exige-se maturidade do grupo gerencial e sistemas de informações.

Fonte: Adaptado de Vilela et al. (2012).

A partir das características elencadas na Tabela 7, é possível compreender a necessidade de utilizar técnicas de avaliação econômico-financeira que contemplem condições flexíveis e ambientais, particulares do segmento de mercado respectivo, e a realidade do investidor/empresa. É apropriado que as condições de risco e incerteza sejam contempladas no momento de avaliar a viabilidade econômico-financeira de um investimento (SILVA e BELDERRAIN, 2004).

Faria (2015) relaciona algumas técnicas que buscam aprimorar a visão de risco e incerteza contidos na avaliação de investimentos. Dentre elas, Análise de Sensibilidade, Análise de Cenários, Simulação de Monte Carlo, Árvores de Decisão e Teoria de Opções Reais. A Tabela 8 apresenta, resumidamente, as características de cada uma destas técnicas, descrevendo suas vantagens e desvantagens.

Tabela 3.8: Vantagens e desvantagens das técnicas que abordam risco e incerteza.

<b>Técnicas</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Análise de Sensibilidade</b>	Considera as variáveis mais significativas do fluxo de caixa e seus valores alcançados, mensurando seu impacto no fluxo de caixa; Identifica a sensibilidade destes indicadores às possíveis alterações de valores.	Não atribui probabilidade ou chance de ocorrência dos resultados; Não considera interdependências entre as variáveis do investimento e o impacto cruzado de suas alterações.
<b>Análise de Cenários</b>	Define conjuntos de cenários conforme as variáveis consideradas; Analisa as variáveis inter-relacionadas; Cenários pessimista, esperado e otimista.	Limitação em lidar com um número maior de cenários projetados.
<b>Simulação de Monte Carlo</b>	Aplica distribuições probabilísticas para as variáveis do fluxo de caixa e números gerados ao acaso; Permite considerar todas as combinações possíveis; Pode determinar a probabilidade de atingir ou superar certo valor de retorno.	Alto custo; Tempo de criação do modelo; Dificuldade na definição de parâmetros; Não considera a flexibilidade gerencial; Assumi um tempo de vida fixo para o investimento.
<b>Árvores de Decisão</b>	Permite visualizar riscos, opções e vantagens financeiras das alternativas de investimento; Relaciona probabilidades de incertezas, valores de investimento e retornos finais; Foca em decisões gerenciais.	Complexidade ao considerar restrições e contexto do investimento; Não oferece diagrama de dispersão como resultado.

Fonte: Elaborada pela autora.

Neste trabalho, aborda-se a Teoria das Opções Reais (TOR) por reconhecer o valor das flexibilidades gerenciais inerentes ao investimento. Desta forma, investimentos empresariais podem comportar-se como opções e, assim, ser tratados conforme respectivas metodologias de avaliação. A TOR utiliza técnicas de modelagem das incertezas ao longo do tempo e técnicas de otimização dinâmica sob incerteza. O próximo tópico trata de caracterizar melhor este método de análise econômico-financeira de investimentos.

### 3.3.7 Teoria das Opções Reais (TOR)

Infelizmente, como descrito anteriormente, as técnicas quantitativas de avaliação de investimentos, fundamentadas no fluxo de caixa descontado, nem sempre conduzem à melhor solução estratégica. É o que defende Minardi

(2000). Os investidores estão sujeitos a tomar decisões erradas baseando-se tanto em análises quantitativas quanto unicamente em sua intuição, sem considerar as particularidades de cada investimento.

Pode-se dizer que a flexibilidade gerencial ou as formas de adaptação às mudanças do ambiente empresarial nada mais são que uma série de opções reais. Opções reais derivam da valoração das opções financeiras que tratam do direito da compra e venda sobre ativos negociáveis no mercado de capital. Da mesma forma, opções reais podem se referir a oportunidades estratégicas e flexibilidades gerenciais intrínsecas aos projetos de investimento (ASSAF NETO, 2012). Tais condições devem ser retratadas na avaliação de desempenho a fim de fundamentar melhor a tomada de decisão.

Para tanto, métodos probabilísticos podem ser usados e adaptados visando avaliar o valor do projeto, permitindo captar o potencial proveniente de uma administração ativa e das interações estratégicas nos investimentos, defende Guedes (2011). É nessa condição que se pauta a Teoria das Opções Reais (TOR).

Oriunda de técnicas aplicadas no mercado financeiro para análise de investimentos em projetos, o método da Teoria das Opções Reais (TOR) é uma abordagem amplificada do VPL tradicional para a avaliação de ativos reais. Projetos de investimento de capital, desenvolvimento de novos produtos, de processos inovadores de produção, avaliação de propriedades intelectuais, de terras, de imóveis, de fontes de recursos naturais (minas, poços de petróleo etc.) e avaliação de projetos de pesquisa e desenvolvimento são exemplos de ativos reais que podem ser avaliados utilizando essa teoria (CAMARGO JR, et al. 2009).

Minardi (2000) esclarece que a TOR tenta superar as limitações dos métodos tradicionais, pois considera as flexibilidades gerenciais na avaliação e utiliza como taxa de desconto a taxa de retorno do ativo livre de risco, não se preocupando em determinar uma taxa de desconto de acordo com o risco do projeto.

O processo de avaliação que considera a flexibilidade da gestão do projeto deve ser capaz de trabalhar com as contingências futuras. Qualquer decisão que venha a rejeitar uma opção deve ser evitada, dando uma

preferência maior às decisões que potencializam a flexibilidade de condução do projeto frente às incertezas futuras do mercado.

Montoro et al. (2012) ressaltam que a TOR surge como resposta às limitações dos métodos que utilizam o fluxo de caixa descontado (FCD). O resultado da TOR é o valor da flexibilidade gerencial em alterar o projeto. Portanto, o cálculo é efetuado a partir da diferença entre o FCD com as flexibilidades incorporadas e o FCD calculado sobre as premissas tradicionais, conforme a fórmula abaixo apresentada pelos autores citados.

$$\text{TOR} = \text{FCD}_{\text{flex}} - \text{FCD}_{\text{tradicional}} \quad (9)$$

Para Santos e Pamplona (2003), a TOR tenta trazer para a avaliação dos investimentos das empresas as possíveis mudanças de planos ocasionadas por alterações das condições do mercado em que atuam. Assim, surge o conceito de VPL estendido, que é o somatório do VPL estático, calculado tradicionalmente, com o valor das opções de condução do projeto existentes para a empresa. Neste contexto, a TOR atrai a atenção de executivos e pesquisadores do mundo inteiro, uma vez que, com o uso da teoria, é possível captar o potencial da flexibilidade da gestão dos projetos na tomada de decisões de investimentos

Portanto, explica Silva (2011), quando forem identificadas opções em uma proposta de investimento, deve-se quantificar o valor dessas opções e adicioná-lo ao valor presente líquido convencional para auxiliar a decisão. Assim, com o objetivo de abranger o valor das opções, ou flexibilidades gerenciais, Minardi (2000) sugere que o VPL de um projeto de investimento seja remodelado da seguinte forma:

$$\text{VPL}_{\text{expandido}} = \text{VPL}_{\text{tradicional}} + \text{Valor da Flexibilidade} \quad (10)$$

Silva (2011) continua ao declarar que, para poder determinar o valor da flexibilidade gerencial, a TOR analisa os investimentos em ativos reais como se fossem opções financeiras, quantificando o valor dessas opções. As opções podem ser classificadas em (1) americanas, se for possível exercer a opção a qualquer momento do prazo estabelecido; e (2) europeias, se o exercício da opção somente for possível na data de vencimento.

Desta forma, é possível comparar as opções reais, presentes em alguns investimentos, às opções financeiras, uma vez que ambas representam um direito e não uma obrigação de investir ou exercer a opção. Em relação a essa comparação, Minardi (op. cit.) observa que as opções reais serão sempre consideradas opções americanas, pois a empresa poderá tomar decisões sobre um investimento durante toda a vida deste. A TOR pode ser considerada uma abordagem complementar à tradicional teoria de análise econômico-financeira com base nos fluxos de caixa descontados, avançando e complementando ao adicionar outras perspectivas à avaliação (FARIA, 2015).

Copeland e Antikarov (2001) explicam que uma opção real tem mais valor quanto maior a incerteza (probabilidade de receber nova informação relevante) e quanto maior a flexibilidade (capacidade de reagir às mudanças de cenários). É o que está representado por meio da Figura 3.14, a seguir.

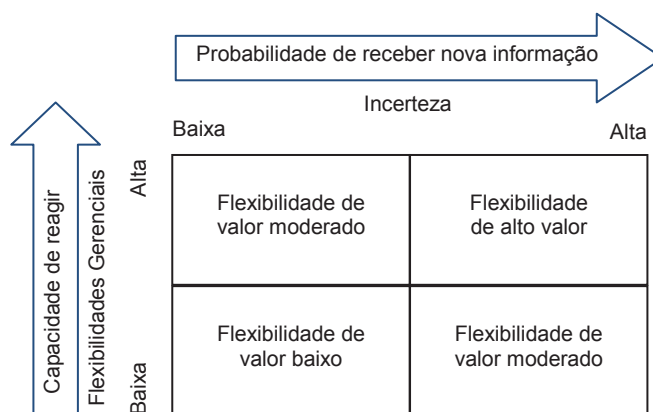


Figura 3.14: Valor da flexibilidade.  
Fonte: Adaptado de Copeland e Antikarov, 2001.

Os autores mencionados relatam que as incertezas podem ser técnicas ou econômicas. Incertezas econômicas, ou de mercado, podem ser modeladas por processos estocásticos. Incertezas técnicas, por sua vez, pertencem ao contexto do investimento, próprias do projeto a ser implantado.

Copeland e Antirakov (2001) relacionam as principais opções reais, ou flexibilidades gerenciais, a seguir:

- (a) Opção de espera: trata da decisão de tardar o investimento, deixando para o futuro ou, até mesmo, desistindo dele, conforme os cenários;
- (b) Opção de expansão: opção de ampliar o investimento, considerando os cenários propostos dentro do contexto técnico e econômico;
- (c) Opção de abandono: desistência definitiva do investimento em questão;
- (d) Opção de parada temporária: opção de interromper temporariamente o investimento;
- (e) Opção de mudança de uso: transformar o projeto ou investimento em outras finalidades produtivas;
- (f) Opções de aprendizagem: escolhe por buscar novas informações antes de investir;
- (g) Opção de troca de input: opções de alternar insumos produtivos, ou combiná-los, para maximizar o valor do investimento.

De forma mais sintética, Rodrigues (2014) descreve os tipos de flexibilidade gerenciais mais comuns em opções reais: (1) opção de expandir: caso informações indiquem melhores condições de mercado e possibilidades de aumentar o lucro expandindo o investimento; (2) opção de abandono: de posse de informações não tão boas, optar por diminuir o volume ou abandonar o investimento; e (3) opção de adiar ou esperar: adiar o investimento até que as condições do mercado melhorem.

A autora supracitada explica que existem diferentes formas de aplicar a abordagem das opções reais. São elas: o Modelo Black-Scholes; Modelo Binomial; Teoria do “option pricing” e sua variante “options thinking”. Os modelos Black-Scholes e Binomial necessitam de dados mais sofisticados, como séries históricas e cálculos complexos. No caso do modelo Binomial, pode-se utilizar a Simulação de Monte Carlo, descrita rapidamente na Tabela 8, na ausência de dados históricos. Porém, quando se trata do desenvolvimento de novos produtos, estes dados não estão disponíveis.

Já no caso dos princípios de “option pricing” e “option thinking”, este método pode ser usado de forma mais flexível e estratégica para lidar com as incertezas. Ao utilizar estes princípios na aplicação de opções reais, dois

conceitos são fornecidos: o valor da opção real, correspondente ao VPL estratégico menos o VPL tradicional, caracterizando a flexibilidade gerencial; e, o prêmio, representando a quantidade que deve ser investida para adquirir a opção (RODRIGUES, 2014).

Assim como as opções reais podem ser aplicadas para apoiar a flexibilidade gerencial na tomada de decisão em projetos (denominado “on” projetos), conforme descrito acima, também podem dar suporte às decisões sobre design de engenharia, permitindo flexibilidade para mudar o sistema produtivo no futuro (conhecido como “in” projetos), aperfeiçoando modelos e materiais utilizados na produção.

Através da Teoria das Opções Reais, apresenta-se, neste trabalho, ao formular uma massa cerâmica para telhas de coloração clara, a viabilidade econômica-financeira do processo de conformação por extrusão. Variáveis específicas deste processo de fabricação e do mercado cerâmico campista são consideradas, assim como, a possibilidade de reação gerencial às incertezas do uso desta massa.

Após o descrito sobre Teoria das Opções Reais, a fabricação de telhas cerâmicas pela indústria cerâmica parceira pode ser compreendida como uma opção de expansão. Isto porque busca ampliar as atividades produtivas a partir de pontos fortes quanto ao contexto técnico-operacional. Além de avistar oportunidades no mercado ceramista ao oferecer um produto a mais na carteira de produtos da cerâmica parceira.

Para executar a proposta acima descrita, apresenta-se, no próximo item, a metodologia desenvolvida.

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste Capítulo, o histórico da empresa parceira é apresentado. Da mesma forma, são descritos os materiais utilizados na determinação da massa cerâmica clara para a produção de telhas extrudadas e os métodos empregados para caracterização das matérias-primas, confecção dos corpos de prova, determinação das propriedades físicas e mecânicas das peças desenvolvidas, assim como o teste industrial. Ainda, descreve-se o processo de produção da telha cerâmica através do software Arena, além de apresentar a viabilidade financeira apurada por meio da TOR – Teoria das Opções Reais.

O fluxograma abaixo, na Figura 4.1, representa o encadeamento destes passos.

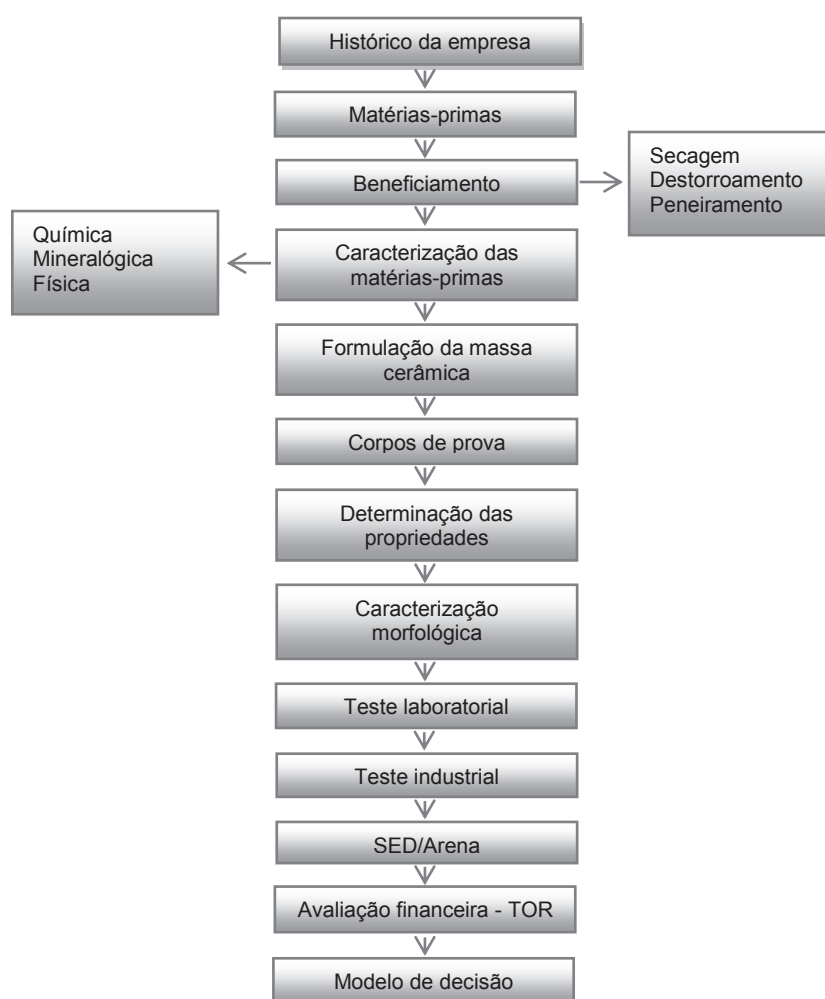


Figura 4.1: Fluxograma das etapas realizadas.

Fonte: Elaborado pela autora



#### 4.1 Histórico da Empresa Parceira

A Arte Cerâmica Sardinha é uma indústria cerâmica de pequeno porte, localizada no Distrito de São Sebastião, em Campos dos Goytacazes/RJ. Faz algum tempo que esta empresa participa de diversos projetos de pesquisa em parceria com o Laboratório de Materiais Avançados desta Universidade. Neste trabalho, fornece dados internos de custos operacionais, previsão de demanda e demais dados necessários ao levantamento da viabilidade econômico-financeira da produção de telhas cerâmicas de coloração clara.

Fundada no ano de 1996, a empresa oferece ao mercado vários modelos de tijolos, cobogós, plaquetas, lajes, ladrilhos e blocos de vedação, conforme as fotos apresentadas abaixo, totalizando 14 produtos. Atende aos mercados do Grande Rio, Angra dos Reis e Região dos Lagos, através de 20 pontos de venda, com um volume médio de vendas de 2.500.000 peças/ano.



Figura 4.2: Alguns dos produtos oferecidos pela empresa parceira ao mercado.  
Fonte: Catálogo dos produtos oferecidos pela empresa parceira.

Possui 17 funcionários, sendo 15 da área operacional. Dispõe de uma capacidade de produção de 4.800 unidades/hora, sem considerar o processo de queima. Porém, sua produção se dá conforme a demanda, não havendo uma programação periódica. O ritmo de produção acompanha o mercado, sendo os pontos de venda da cidade do Rio de Janeiro os de maior faturamento. Quanto à concorrência, as indústrias cerâmicas do Rio Grande do Sul, apesar da distância geográfica, se apresentam como fortes concorrentes, oferecendo variedade e qualidade nos produtos.

Considerando o exposto, este trabalho conta com a colaboração da Arte Cerâmica Sardinha para o desenvolvimento de uma telha cerâmica viável financeiramente, aprimorando sua oferta de seus produtos.

## 4.2 Materiais

Cinco matérias-primas foram utilizadas na formulação das massas cerâmicas, todas provenientes de Campos dos Goytacazes/RJ e fornecidas pelo parceiro Arte Cerâmica Sardinha. São matérias-primas usualmente utilizadas pela indústria parceira na confecção de seus outros produtos, como tijolos e cobogós. Desta forma, a escolha por estas matérias-primas se deu pela otimização dos insumos, minimizando prováveis custos com transporte ou diferença de preço. São elas:

- (1) A primeira matéria-prima é uma argila extraída por um dos fornecedores do parceiro, na localidade de Poço Gordo, região da baixada campista muito próxima à Cerâmica. Esta argila foi denominada **PG**.
- (2) A próxima é uma argila conhecida na região como Argila Carolinho (**CA**);
- (3) A terceira argila é chamada de Argila Cinza (**CZ**);
- (4) Resíduo de rochas ornamentais, advindo de Santo Antônio de Pádua/RJ (**RRO**);
- (5) Areia quartzosa de Campos dos Goytacazes, por último.



Figura 4.3: Argila PG.  
Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 4.4: Argila CA.  
Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 4.5: Argila CZ.  
Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 4.6: Resíduo de rochas ornamentais.  
Fonte: Arquivo pessoal.

Por se tratar de matérias-primas disponíveis nas proximidades das instalações da Cerâmica, com custos de aquisição e transporte já conhecidos e dentro do orçamento dos demais produtos, buscou-se adaptá-las à produção de telhas, evitando novos custos operacionais. Destaca-se também a preferência pela coloração clara a fim de despertar interesse mercadológico.

O material utilizado no teste laboratorial foi coletado e direcionado ao Laboratório de Materiais Avançados (LAMAV) – Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF para realização dos ensaios.

Para o teste industrial, toda a matéria-prima foi coletada, beneficiada e processada na própria empresa Arte Cerâmica Sardinha.

### 4.3 Metodologia

A fim de proceder a caracterização física, química e mineralógica, os materiais utilizados nas composições das massas passaram por algumas etapas. São elas:

1. Após a coleta nos estoques da Cerâmica, os materiais foram levados ao LAMAV e secos em estufa laboratorial, marca Odontobrás, modelo EL-1.5, a 110°C. Foram retirados da estufa depois de 48h para obter peso constante com a secagem da água de umidade.
2. Um almofariz e um pistilo de porcelana foram utilizados para diminuir os grãos. Desta forma, foi possibilitada a passagem total dos materiais em peneira de 20 mesh (0,84mm).



Figura 4.7: Estufa laboratorial, almofariz e pistilo.  
Fonte: Arquivo pessoal.

Os materiais peneirados a 20 mesh foram utilizados na preparação dos corpos de prova, análise granulométrica e dilatométrica. Peneiras com outras aberturas foram usadas também para preparar o material para os próximos ensaios. Como a de 40 mesh, para análise de plasticidade, e a de 200 mesh, para caracterização química e mineralógica.

### **4.3.1 Caracterização das matérias-primas**

#### **4.3.1.1 Caracterização química**

A caracterização química dos materiais foi determinada pelo método de espectroscopia de fluorescência de Raios X. A análise foi feita no Centro de Tecnologia em Materiais – Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais (LDCM), do SENAI, Unidade de Criciúma/SC, por meio do equipamento da marca Unicam, modelo Solar 969.

#### **4.3.1.2 Caracterização mineralógica**

##### **4.3.1.2.1 Difração de Raios X**

A análise mineralógica por difração de Raios X (DRX) foi realizada pelo método do pó, por meio do difratômetro marca Rigaku, Ultima IV. Utilizando radiação Cu-K $\alpha$ , varredura 2 $\theta$ , variando de 3° a 66°, com passo de 0,02° por segundo, e tempo de 3s. Uma amostra de cada massa antes da queima foi analisada. Da mesma forma, uma amostra de cada massa após a queima a 850°C também foi submetida à análise mineralógica. Este ensaio foi executado no Laboratório de Ciências Físicas – LCFIS/CCT/UENF.

Com o auxílio do software Rigaku, a partir da comparação dos arquivos do padrão JCPDS (Joint Committee on Diffraction Standards), foi realizada a identificação das fases de transformação mineralógica.

##### **4.3.1.2.1 Dilatometria**

Para complementar a identificação das fases mineralógicas das matérias-primas, auxiliando na avaliação do comportamento de queima (retração e expansão), realizou-se a análise dilatométrica. Para tanto, foram utilizados corpos de prova de 2g das amostras, prensados com 5% de umidade, medindo aproximadamente 10mm de diâmetro. Após a prensagem, os corpos de prova foram secos a 110°C, por 24 horas, em estufa laboratorial.



Figura 4.8: Prensa utilizada para a produção dos corpos de prova para o ensaio de dilatométrica.

Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 4.9: Corpos de prova de cada massa cerâmica para o ensaio de dilatométrica.

Fonte: Arquivo pessoal.

O Dilatômetro utilizado é da marca Netzsch, modelo DIL 402 PC, a uma taxa de aquecimento de 5 K/min, de 25 a 1050°C, e é apresentado na Figura 4.10, abaixo. O ensaio de dilatométrica foi realizado no Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV/UENF.

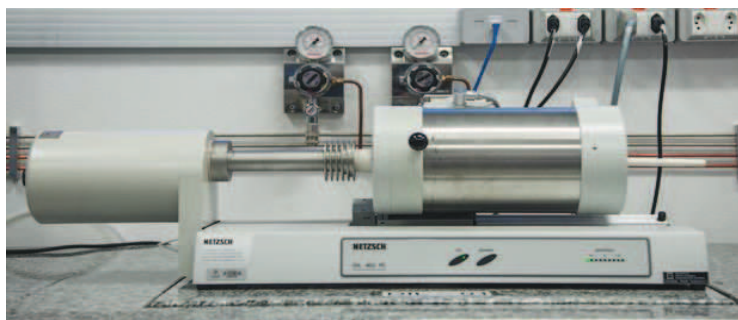


Figura 4.10: Dilatômetro usado no ensaio de dilatométrica.

Fonte: <https://www.uces.br>

### 4.3.1.3 Caracterização física

#### 4.3.1.3.1 Análise granulométrica

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Engenharia Civil – LECIV/UENF, em duas etapas. A primeira trata da análise granulométrica por peneiramento grosso (10 mesh) e peneiramento fino (200 mesh). Como segunda etapa, tem-se o ensaio de sedimentação a partir do peneiramento do material em 200 mesh. Os parâmetros utilizados estão em conformidade com a norma NBR 7181/84.

#### 4.3.1.3.2 Plasticidade

O Método de Atterberg foi utilizado para a determinação da plasticidade das massas. Através deste método, define-se o intervalo de umidade em que uma argila ou massa argilosa pode ser moldável. Calcula-se o índice de plasticidade (IP) por meio do limite de liquidez (LL) e do limite de plasticidade (LP), NBR 6459/84 e 7180/84, respectivamente. O limite de plasticidade indica a porcentagem mínima de água necessária para a moldagem de uma massa. Já o limite de liquidez representa a umidade na qual uma massa perde a consistência para ser moldada. Assim, o índice de plasticidade se dá através da diferença entre os limites de liquidez e plasticidade, a partir da fórmula abaixo.

$$IP = LL - LP \quad (11)$$

Em que:

IP: Índice de plasticidade;

LP: Limite de plasticidade, expresso em %;

LL: Limite de liquidez, expresso em %.

### 4.3.2 Formulação das massas

Nesta etapa, quatro massas argilosas foram formuladas com o objetivo de identificar a massa mais apropriada para produção de telha cerâmica de coloração clara. O método de formulação escolhido foi o Diagrama de Winkler no qual as matérias-primas foram posicionadas a fim de identificar as formulações enquadradas na região B. Como dito anteriormente, o posicionamento nas regiões demarcadas sugere o tipo de produto conforme a dosagem de partículas finas, médias e grossas, possibilitando obter melhores propriedades para o produto final.

Foram confeccionados 61 corpos de prova de cada massa a fim de realizar os testes laboratoriais, objetivando a comparação dos resultados. Uma das massas foi utilizada no teste industrial, por se tratar de uma massa já usada empiricamente pela cerâmica parceira nos produtos já oferecidos. Portanto, houve a preocupação de associar conhecimentos técnicos à formulação desta massa industrial buscando comprovar sua aplicabilidade na fabricação de telhas. Além de, também, tentar oferecer opções de massas ampliando a carteira de produtos de qualidade comprovada para a cerâmica parceira.

A primeira massa argilosa é composta pela argila extraída em Poço Gordo, por isso é referenciada como **MPG**. A massa argilosa **MCA** é constituída pela argila Carolinho, enquanto a massa argilosa **MCZ** é formada pela argila Cinza. Como descrito no item sobre Materiais, são argilas campistas e comumente utilizadas na indústria cerâmica parceira. Elas foram umedecidas com cerca de 25% de água, a partir das massas secas, para atingir o ponto plástico necessário à conformação por extrusão. Essas três massas foram processadas no teste laboratorial.

A quarta massa argilosa trata de uma massa industrial já utilizada na indústria parceira e misturada empiricamente, buscando melhorar as propriedades das peças produzidas. Desta forma, neste trabalho, propõe-se a ajustar esta mistura a partir da formulação sugerida pelo posicionamento das matérias-primas no Diagrama de Winkler, a fim de comprovar tecnologicamente a melhoria das propriedades. Com isso, a massa n.04 é elaborada por meio da



combinação de 65% da argila Cinza, 20% de areia e 15% resíduo de rochas ornamentais, recebendo a sigla **MRRO** como referencial. Da mesma forma, foram adicionados à massa resultante cerca de 25% de umidade necessária à conformação por extrusão. A quarta massa foi processada no teste laboratorial, assim como no teste industrial.

### 4.3.3 Teste Laboratorial

#### 4.3.3.1 Elaboração dos corpos de prova

Após a mistura das massas, os corpos de provas foram conformados através da extrusora laboratorial, marca Verdés – modelo 051, nº de série 024, totalizando 244 corpos de prova, sendo 61 de cada formulação. As massas foram comprimidas por meio de uma boquilha padrão, produzindo corpos de prova com dimensões aproximadas de 11x2x1cm. Abaixo, as Figuras 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14, apresentam o equipamento citado.



Figura 4.11: Visão frontal da extrusora.  
Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 4,12: Visão traseira da extrusora.  
Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 4.13: Potência da extrusora.  
Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 4.14: Boquilha padrão.  
Fonte: Arquivo pessoal.

Após a conformação dos corpos de prova, sua devida identificação e medição, todos foram secos em estufa a  $\pm 110^{\circ}\text{C}$  por 24h. Um forno laboratorial, marca EDG, modelo EDG 3P-S, foi utilizado para processar a queima, com temperaturas de  $800^{\circ}\text{C}$ ,  $850^{\circ}\text{C}$ ,  $900^{\circ}\text{C}$ ,  $950^{\circ}\text{C}$ ,  $1000^{\circ}\text{C}$  e  $1050^{\circ}\text{C}$ . A taxa de aquecimento foi de  $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , sendo 120 min de permanência na temperatura patamar. Esta etapa foi executada no LECIV e no LAMAV/UENF.



Figura 4.15: Forno laboratorial usado para a queima dos corpos de prova.  
Fonte: Arquivo pessoal.

### 4.3.3.2 Determinação das propriedades

#### 4.3.3.2.1 Plasticidade

Bem como descrito no item c.2, utilizando os limites de Atterberg, as massas formuladas foram avaliadas quanto à plasticidade.

#### 4.3.3.2.2 Densidade aparente a seco

Atendendo à norma ASTM C373-72, a massa de cada corpo de prova foi registrada por uma balança digital, marca Instrutherm, modelo BD-600. A partir dos valores encontrados, apurou-se a densidade aparente a seco por meio da

razão da massa e seu volume total, constituído pelo volume das partículas e dos poros. A Equação 12 a seguir representa o cálculo da densidade aparente a seco.

$$Pap = \frac{m}{V} \quad (12)$$

Na qual:      Pap = Densidade aparente da peça seca (g/cm<sup>3</sup>);  
                   m = Massa do corpo seco (g);  
                   V = Volume do corpo seco (cm<sup>3</sup>)

#### 4.3.3.2.2 Absorção de água (AA)

Após os corpos de prova secos em estufa a  $\pm 110^{\circ}\text{C}$  por 24h, suas massas foram medidas. Logo depois, os corpos de prova foram postos por 2h num recipiente com água fervente. Posteriormente, foram resfriados em água corrente para a retirada da água superficial a fim de pesá-los mais uma vez. Este procedimento obedeceu à norma ASTM C373-72.

A absorção de água foi calculada através da equação, a seguir.

$$AA(\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad (13)$$

Onde:      AA = Absorção de água, expressa em % de água absorvida;  
                   m<sub>u</sub> = massa úmida (g);  
                   m<sub>s</sub> = massa seca (g).

#### 4.3.3.2.3 Retração linear

Após a secagem ou queima, as peças formadas com argila sofrem uma redução de tamanho, denominada retração linear. Isto se dá pela eliminação da água utilizada na composição da peça. No momento em que esta água é

subtraída, aparecem espaços vazios havendo a aproximação das partículas graças às forças eletrostáticas, promovendo um adensamento. Santos (2013) explica que, no caso do processo de queima, a sinterização das peças provoca a retração.

Para o cálculo da retração linear, as dimensões dos corpos de prova foram medidas antes e depois da secagem, assim como após a queima, utilizando o paquímetro digital, marca Mitutoyo. A Equação 14 utilizada para calcular a retração linear é apresentada a seguir.

$$RL(\%) = \left( \frac{L_0 - L}{L_0} \right) \times 100 \quad (14)$$

Na qual: RL = Retração linear, expressa em % de dimensão retraída;  
 $L_0$  = Comprimento do corpo de prova seco (mm);  
 L = Comprimento do corpo de prova queimado (mm).

#### 4.3.3.2.5 Tensão de ruptura a flexão

Atendendo à norma ASTM C674-77, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de tensão de ruptura à flexão por três pontos. A partir deste ensaio, a resistência mecânica de cada corpo de prova foi determinada, ao aplicar a Equação 15. Este ensaio foi realizado empregando uma máquina universal de ensaios, marca Instron e modelo 5582, no LAMAV/UENF.

$$\sigma = \frac{3 \times L \times P}{2 \times b \times d^2} \quad (15)$$

Onde:  $\sigma$  = Tensão de ruptura à flexão (MPa);  
 P = Carga aplicada (N);  
 L = Distância entre apoios (mm);  
 b = Largura do corpo de prova (mm);  
 d = Altura do corpo de prova (mm).

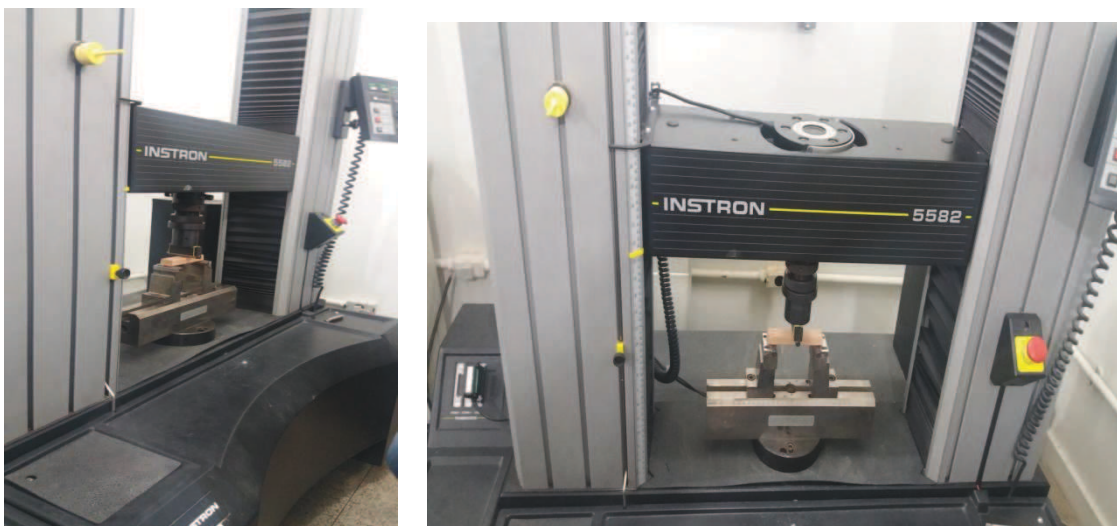


Figura 4.16: Equipamento universal de ensaio de tensão de ruptura à flexão.  
Fonte: Arquivo pessoal.

#### 4.3.3.3 Caracterização microestrutural

A textura da superfície interna dos corpos de prova foi observada por meio do microscópio eletrônico de varredura da marca Bruker, modelo Quanta FEG, para a técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Com o mesmo objetivo, os corpos de prova também foram observados utilizando o microscópio confocal da marca Tecnival, para a técnica de Microscopia Ótica (MO).



Figura 4.17: Microscópio Eletrônico de Varredura.  
Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 4.18: Microscópio óptico.  
Fonte: Arquivo pessoal.

#### 4.3.4 Teste Industrial

O teste industrial foi realizado por meio da fabricação de telhas extrudadas nas instalações da própria cerâmica parceira, a partir da massa cerâmica definida no teste laboratorial. Como explicado anteriormente no item 4.3.2, a porcentagem de cada material na composição da massa foi determinada segundo o posicionamento dos mesmos no Diagrama de Winkler, ajustando a mistura e buscando melhorar tecnologicamente suas propriedades. Desta forma, utilizando a caçamba do caminhão Truck, com 03 eixos, capacidade aproximada de 16ton (16.000kg), e a concha de alimentação do caminhão, com cerca 1.140kg de capacidade, como medidas-padrão da cerâmica, as matérias-primas foram misturadas.

A massa composta seguiu a proporção sugerida pelo uso do Diagrama de Winkler, combinando 65% de argila cinza, 20% de areia e 15% de resíduo de rochas ornamentais. Em termos de medidas utilizadas na cerâmica, foram 09 conchas de argila cinza, cerca de 10.400kg; 03 conchas de areia, 3.300kg aproximadamente; e 02 conchas de resíduo de rochas ornamentais, por volta de 2.300kg. Com isso, a caçamba do caminhão conteve cerca de 16.000kg do material, como apresentado na Figura 4.19 abaixo.



Figura 4.19: A caçamba do caminhão com o material para ser misturado.  
Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 4.20: O material depositado no caixão para ser desintegrado e misturado.

Fonte: Arquivo pessoal.

O material, após ser dosado na caçamba do caminhão, foi colocado no caixão, exposto na Figura 4.20, compartimento do qual o material passou para ser desintegrado e pré-laminado.

A etapa seguinte foi a de misturar a massa, adicionando água até obter umidade e plasticidade adequadas à extrusão. Aos poucos, a massa cerâmica foi ficando homogênea e foi levada para o laminador, ficando mais densa com a redução das bolhas de ar.

Pronta para ser extrudada, a massa cerâmica foi levada pela esteira à extrusora (também chamada maromba) e foi pressionada por uma boquilha no formato da telha portuguesa, apresentada na Figura 4.21.



Figura 4.21: Boquilha com o formato da telha portuguesa.

Fonte: Arquivo pessoal.

A Figura 4.22 a seguir mostra a extrusora e o cortador da marca WD, modelo WD36, utilizada no teste industrial para conformar e cortar a massa cerâmica. Estes equipamentos já pertencem à cerâmica parceira e a extrusora é utilizada para o processamento dos outros produtos. A barra contínua do material extrusado foi cortada automaticamente no comprimento de 48cm, aproximadamente. O sistema de corte por guilhotina agiliza a produção e permite a marcação do pino, um ressalto na parte inferior da telha para fixá-la às ripas do telhado. Foram conformadas 437 telhas de coloração clara, pesando cerca de 03kg, em 37min, dentre as quais 30 telhas foram identificadas e medidas para determinar suas propriedades.



Figura 4.22: Extrusora e cortador usados no teste industrial.  
Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 4.23: Extrusora sendo utilizada na produção das telhas.  
Fonte: Arquivo pessoal.



As telhas cerâmicas produzidas foram arrumadas nos pallets de madeira, ordenados verticalmente, para a etapa de secagem, conforme a Figura 4.24. As telhas ficaram guardadas num galpão coberto, envoltas numa lona plástica, por 02 dias. No terceiro dia, a lona plástica foi retirada e as telhas continuaram expostas por mais 06 dias para completar o processo de secagem. A intenção foi evitar a exposição direta ao vento, para que não houvesse trincas ou rachaduras, visto que nesta cerâmica a secagem é realizada de forma natural.



Figura 4.24: Telhas arrumadas verticalmente nos pallets de madeira para o processo de secagem  
Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 4.25: Telhas após a retirada da lona plástica.  
Fonte: Arquivo pessoal.

A fim de realizar o processo de queima, as telhas foram empilhadas dentro de um forno tipo abóbada juntamente com os demais produtos da cerâmica, arrumadas de forma inversa para facilitar a passagem do calor. Para possibilitar uma coloração variada, as telhas foram divididas em 03 grupos. O primeiro grupo foi empilhado no nível mais baixo do forno, enquanto o segundo foi arrumado no meio do forno, em cima de outras peças. O terceiro grupo de telhas foi ordenado próximo ao teto do forno.

A queima foi realizada durante 07 dias, onde nos dois primeiros dias ocorreu a transferência de calor do outro forno por, aproximadamente, 50/60h. Após este período, a fornalha foi alimentada com lenha iniciando a queima propriamente dita, a fim de alcançar a temperatura patamar de 850°C.



Figura 4.26: Forno tipo abóbada utilizado para a queima das peças produzidas.  
Fonte: Arquivo pessoal.

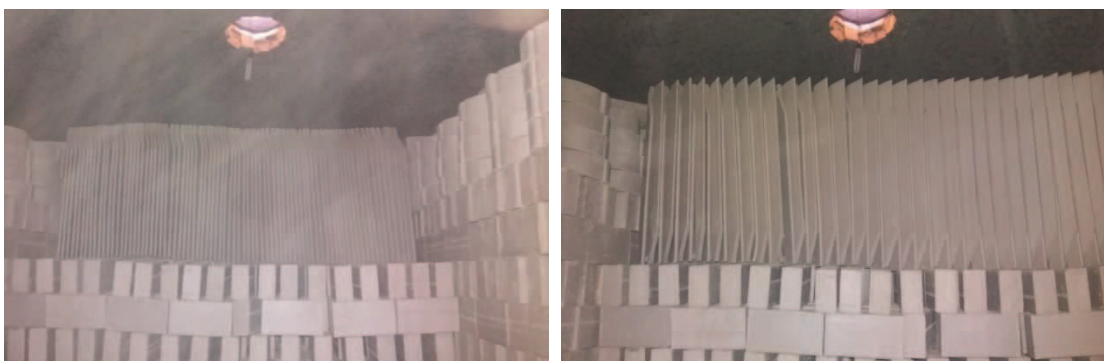


Figura 4.27: Telhas arrumadas inversamente no forno, próximas ao teto, juntamente com os demais produtos da cerâmica.

Depois de retiradas do forno, as 30 telhas que foram identificadas e medidas passaram por ensaios físicos e mecânicos com intuito de determinar a qualidade das telhas fabricadas.

#### 4.3.4.1 Retração Linear (Rq)

A fim de verificar a redução do tamanho das peças após a queima, as telhas tiveram suas dimensões medidas antes e depois do processo de queima. Para tanto, foi utilizada uma trena, com freio duplo, modelo 7,5m.

Para calcular a retração linear de queima, foi empregada a Equação 14, descrita a seguir.

$$Rq(\%) = \left( \frac{L_0 - L}{L_0} \right) \times 100 \quad (14)$$

Na qual:

Rq = Retração linear de queima, expressa em % de dimensão retraída;

$L_0$  = Comprimento da telha seca (cm);

L = Comprimento da telha queimada (cm).

#### 4.3.4.2 Absorção de água (AA)

As telhas também foram submetidas ao ensaio de absorção de água, ressaltando que, segundo a norma NBR 15310/2005, o limite máximo admissível é de 20% de absorção. Neste ensaio, as telhas foram pesadas numa balança laboratorial antes e após ficarem submersas num tanque cheio d'água por 24h. Este procedimento obedeceu à norma ASTM C373-72.

A absorção de água foi calculada através da equação, a seguir.

$$AA(\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad (13)$$

Onde: AA = Absorção de água, expressa em % de água absorvida;

$m_u$  = massa úmida (g);

$m_s$  = massa seca (g).

#### 4.3.4.3 Tensão de ruptura a flexão

Atendendo à norma NBR 15310/2005, as telhas foram submetidas ao ensaio de tensão de ruptura à flexão por três pontos. Este ensaio foi realizado empregando uma máquina universal de ensaios, marca Emic, modelo DL30000, no LECIV/UENF. Para tanto, 02 apoios inferiores e um cutelo de madeira maciça foram confeccionados com largura aproximada de 30mm, altura mínima de 40mm e comprimento mínimo superior à largura total da telha, conforme a Figura 4.28.

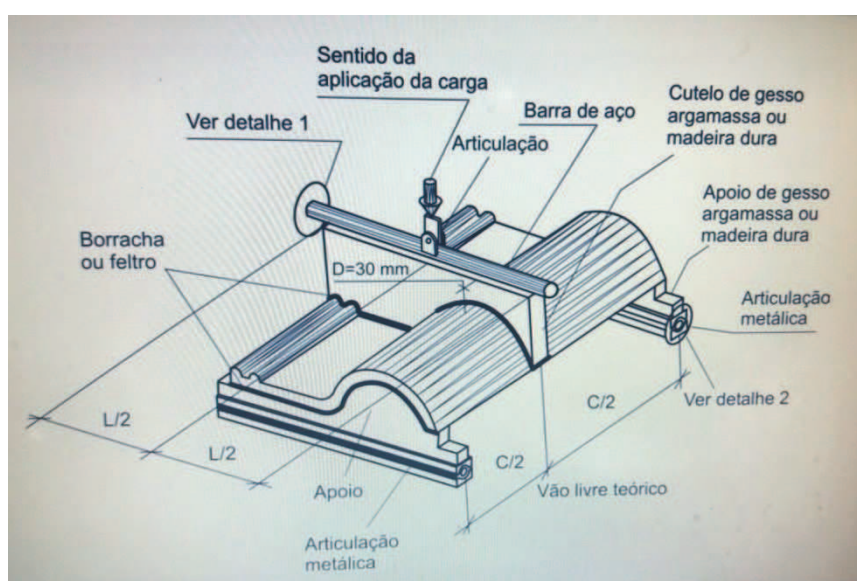


Figura 4.28: Apoios e cutelos para o ensaio de flexão da telha.  
Fonte: NBR 15310/2005.

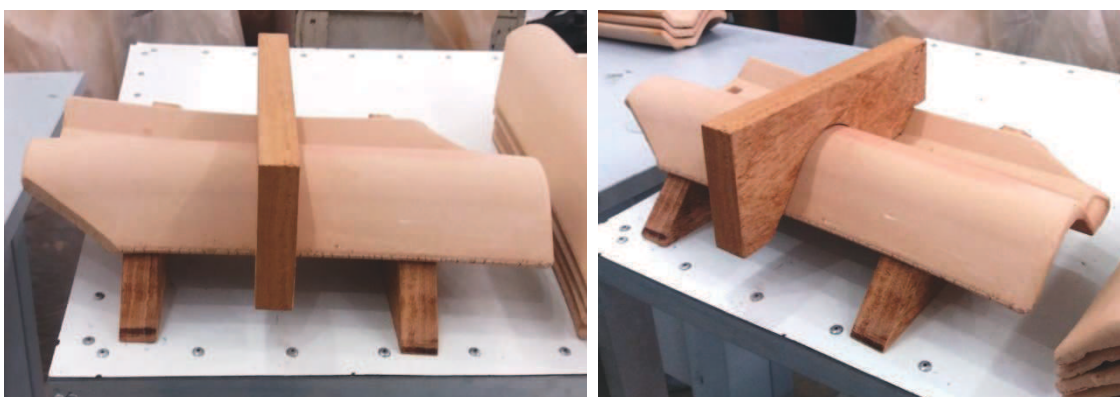


Figura 4.29: Telhas preparadas para o ensaio de flexão, conforme NBR 15310/2005.  
Fonte: Arquivo pessoal.

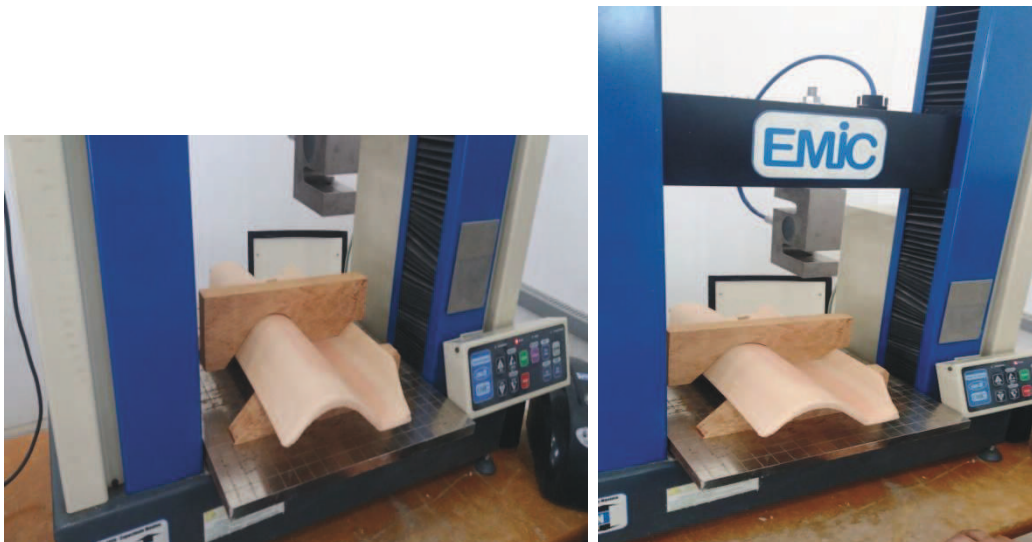


Figura 4.30: Máquina universal de ensaios.  
Fonte: Arquivo pessoal.

A partir deste ensaio, a resistência mecânica de telha foi determinada, ao aplicar a Equação 15.

$$\sigma = \frac{3 \times L \times P}{2 \times b \times d^2} \quad (15)$$

Onde:

- $\sigma$  = Tensão de ruptura à flexão (MPa);
- P = Carga aplicada (N);
- L = Distância entre apoios (mm);
- b = Largura do corpo de prova (mm);
- d = Altura do corpo de prova (mm).

O próximo item apresenta o modelo de simulação utilizado para descrever a fabricação de telhas cerâmicas no teste industrial.

#### 4.3.5 Uso de Simulação de Eventos Discretos

A técnica de Simulação de Eventos Discretos (SED) foi empregada, utilizando o software Arena 14.7, com o objetivo de prever o

desempenho do processo de fabricação das telhas cerâmicas sob condições reais. Importante ressaltar a consideração do compartilhamento de recursos paralelamente à produção dos outros produtos e diferentes mix de produção. Buscou-se definir os parâmetros do processo de fabricação de telhas cerâmicas com coloração clara a partir das características produtivas particulares da empresa parceira. Para tanto, foi utilizado o modelo de simulação definido por Aragão (2011) visto que aborda a produção cerâmica da região da baixada de Campos dos Goytacazes, e que pôde ser ajustado para a cerâmica em questão.

#### 4.3.5.1 Variáveis de entrada e saída

Entendendo que o modelo deve considerar as variáveis representativas do processo, a Tabela 4.1 abaixo apresenta as variáveis de entrada e de saída que foram consideradas.

Tabela 4.1: Variáveis de entrada e saída do modelo de simulação.

<b>Variáveis de Entrada</b>	1. Início e término da produção
	2. Tempo da extrusora
	3. Tempo de corte
	4. Tempo de retirada da peça da esteira
	5. Quantidade de peças produzidas por hora
	6. Quantidade de paradas para manutenção
	7. Número de funcionários que intervêm no processo
	8. Número de peças que sofrem retrabalho
	9. Número de peças defeituosas
<b>Variáveis de Saída</b>	1. Quantidade de peças produzidas ao final da produção
	2. Taxa de utilização da extrusora
	3. Taxa de utilização do corte
	4. Taxa de utilização dos funcionários

Fonte: adaptada de Aragão (2011).

Considerando as etapas produtivas do processo de fabricação descritas no fluxograma da Figura 4.31, destaca-se a retirada da etapa de prensagem da telha cerâmica como variável de entrada. Esta ação é proposta visto que, quando a massa cerâmica passa pela extrusora, já sai conformada

adequadamente pela ação do vácuo, promovendo a retirada do ar. Da mesma forma, o uso da boquilha com o formato escolhido da telha elimina a necessidade de modelar através da prensa e o corte automático agiliza a produção. Sendo assim, o fluxograma proposto nesse trabalho é apresentado na Figura 4.31, a seguir.

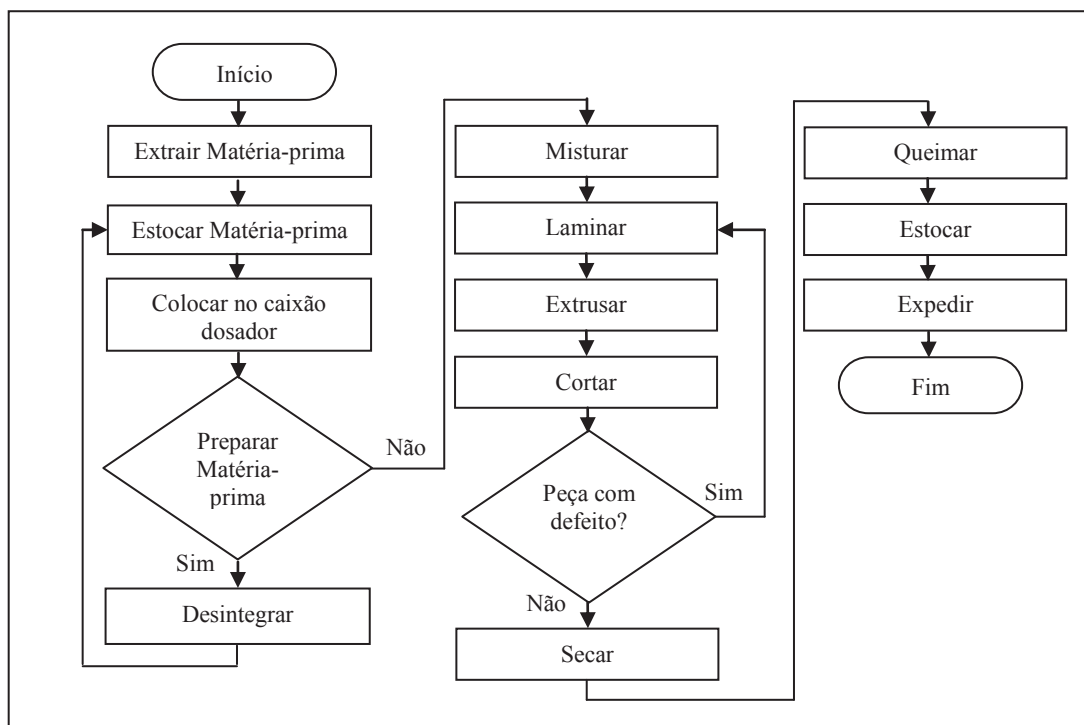


Figura 4.31: Fluxograma proposto para fabricação de telhas cerâmicas.  
Fonte: Elaborado pela autora.

Após a descrição do processo produtivo por meio do fluxograma proposto, a próxima etapa foi coletar e analisar os dados do processo de fabricação de telhas cerâmicas durante o teste industrial. Desta forma, a Tabela 4.2 indica as variáveis de entrada e de saída do processamento das telhas no decorrer do teste industrial, realizado no dia 30/08/2017.

Tabela 4.2: Variáveis de entrada e saída do processo do teste industrial realizado no dia 30/08/2017.

<b>Variáveis de Entrada</b>	1. Início da produção	13:40h
	2. Término da produção	14:17h
	2. Tempo da extrusora	5s/peça
	3. Tempo de corte	2s/peça
	4. Tempo de retirada da peça da esteira	1s/peça
	5. Quantidade de peças produzidas por minuto	11,81peças/min
	6. Quantidade de paradas para manutenção	6
	7. Número de funcionários que intervêm no processo	5
	8. Número de peças que sofreram retrabalho	9
9. Número de peças defeituosas	1	
<b>Variáveis de Saída</b>	1. Quantidade de peças produzidas ao final da produção	
	2. Taxa de utilização da extrusora	
	3. Taxa de utilização do corte	
	4. Taxa de utilização dos funcionários	

Fonte: Adaptada de Aragão (2011).

No modelo computacional de Aragão (2011), os processos de preparação da matéria-prima, secagem e queima não foram considerados. No processo de preparação da massa, incluindo desintegração, mistura e laminação, Aragão (op.cit.) afirma que não há como modelar porque as matérias-primas passam por esses processos em pequenos fragmentos, com variáveis medidas. Da mesma forma, os processos de secagem e queima, visto que os mesmos possuem tempo necessário mais prolongado e já conhecido no processo cerâmico.

Quanto ao processo de extrusão, este pode ser modelado por conformar devidamente a massa, que comprimida pela boquilha, sai num formato contínuo (bastões). Como a extrusora e a máquina de corte trabalham de forma sincronizada, é possível levantar os dados ao observar a quantidade de peças fabricadas durante o tempo de operação.

No processo de fabricação de telhas modelado por Aragão (op. cit.), observou-se que a etapa da prensa representa um gargalo produtivo. Isso acontece por causa da restrição da capacidade máxima de processamento da prensa. Este equipamento não consegue acompanhar o ritmo produtivo da extrusora e da máquina de corte caso haja aumento de velocidade. Além de apresentar um índice de 7,5% de peças com algum defeito, provocando o



retrabalho. Este gargalo foi observado por Aragão (op.cit.) diretamente durante o acompanhamento do processo produtivo. E foi comprovado por meio da simulação computacional do processo. Desta forma, a sugestão desta tese de eliminar a etapa da prensa do processo produtivo de telhas cerâmicas acarreta a manutenção de um ritmo produtivo aceitável, minimizando o índice de peças defeituosas.

#### 4.3.5.2 Modelo de simulação

O modelo de simulação desenvolvido por Aragão (2011) no software Arena 7.0 foi adaptado para ser executado no software Arena 14.7, instalado num notebook convencional, eliminando a etapa da prensa. As variáveis de entrada obtidas durante a execução do teste industrial foram inseridas objetivando a análise das variáveis de saída. Desta forma, buscou-se identificar o desempenho operacional do teste industrial de fabricação de telhas cerâmicas de coloração clara na cerâmica parceira.

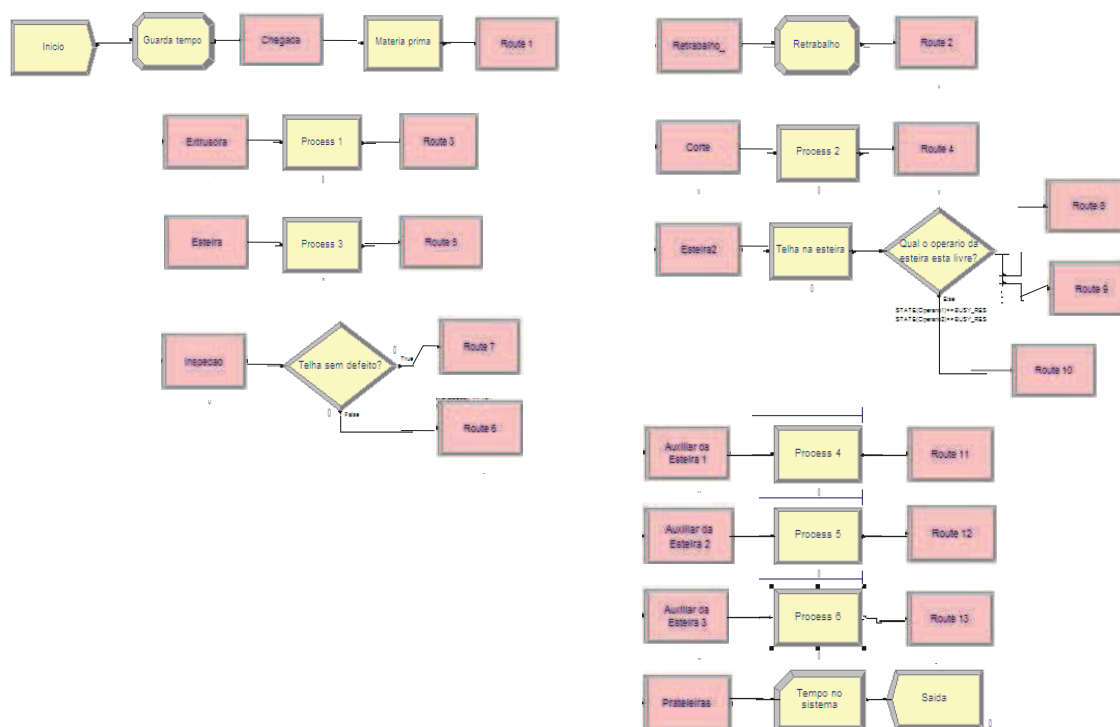


Figura 4.32: Modelo de simulação do processo produtivo de telha desenvolvido no Arena 14.7.

Fonte: Extraído do software Arena.

Optou-se por um modelo simples, de fácil compreensão e aplicação, com o propósito de retratar as operações do teste industrial. Assim, pretende-se apresentar o software a fim de torná-lo interessante para o uso diário dentro da cerâmica parceira, inclusive aumentando as possibilidades de produtos e equipamentos, gerando mais dados que possam ser acompanhados e controlados.

No modelo, os blocos estão interligados a estações e roteadores. Os roteadores representam as saídas dos processos, enquanto as estações as entradas. Desta forma, é possível compor o modelo arrumando visualmente, facilitando a compreensão.

O bloco “**Início**” é a porta de entrada das entidades no sistema. Posteriormente, um atributo “**TC**” (tempo de chegada) é criado no bloco “**Guarda Tempo**”. O tempo lançado em “**TC**” é capturado no bloco “**Tempo no Sistema**” no momento em que a entidade sai do sistema para se obter o tempo médio de fabricação de uma telha. As entidades que passam pelo bloco “**Guarda Tempo**” recebem uma etiqueta chamada de “**telha**” onde se armazena o “**TempoProcesso**” (tempo de processamento). A Figura \_\_\_ mostra as características desse bloco.

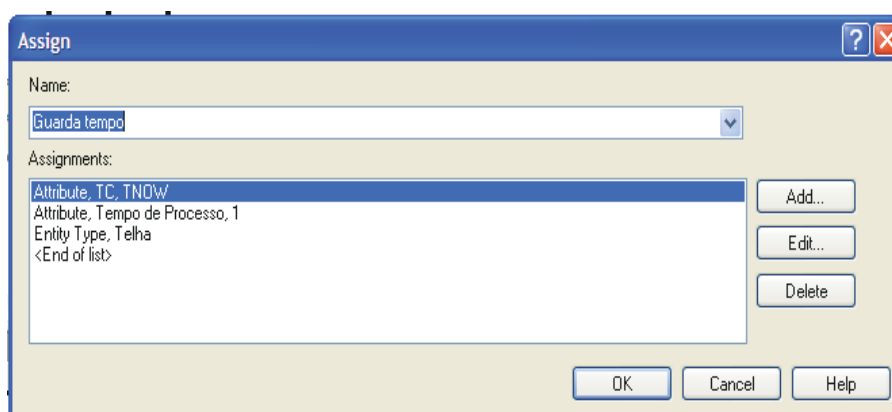


Figura 4.33: Configuração do bloco “Guarda Tempo”.  
Fonte: Extraída do software Arena.

Ao armazenar os tempos de processamento dessa maneira, busca-se representar o processo de retrabalho das telhas. Pois, quando uma telha retorna para ser reprocessada, ocorre uma alteração no tempo de

processamento. Para retratar o processo de retrabalho, a entidade passa pela estação “**Retrabalho\_**” seguindo para o bloco “**Retrabalho**”, recebendo uma nova etiqueta (“**telha\_ret**”) e um novo tempo de processo.

Utilizando o bloco “**Route 2**”, as entidades são reenviadas para a estação “**Chegada**”. O tempo de processamento é utilizado conforme a etiqueta definida na entidade. O bloco “**Retrabalho**” é descrito na Figura 4.34.

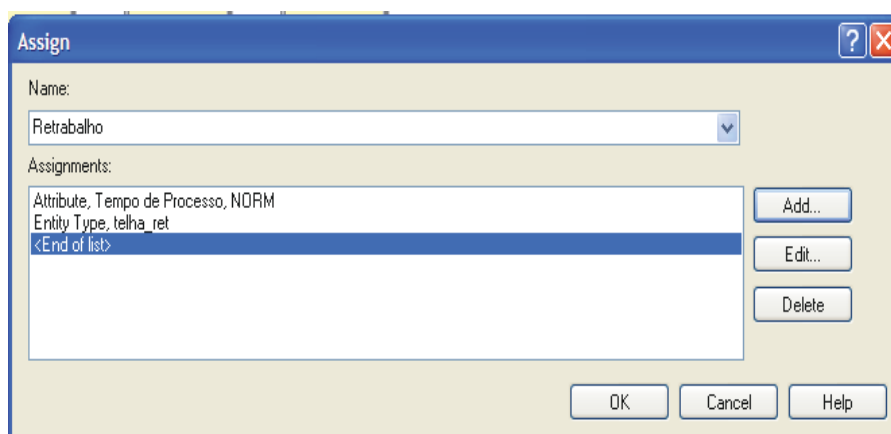


Figura 4.34: Configuração do bloco “Retrabalho”.  
Fonte: Extraída do software Arena.

O próximo bloco é a estação “**Chegada**”. A seguir, as entidades esperam no bloco “**MateriaPrima**”, representando o processo de preparo de matéria-prima, para ir para a estação “**Extrusora**” através do bloco “**Route 1**”. Desta forma, as entidades chegam ao bloco “**Process 1**”, onde o tempo de processamento armazenado nas entidades são processadas, contando com um recurso que é o operário encarregado de manusear a extrusora.

A seguir, do bloco “**Route 3**”, as entidades passam para a estação “**Corte**”, chegando ao bloco “**Process 2**”, sendo o tempo de processamento armazenado nas entidades processado nesse bloco. Destaca-se também a utilização de um operário como recurso para controlar o mecanismo de corte. Os tempos de processamentos devem ser os mesmos nesses blocos porque os processos de extrusão da massa e de corte são sincronizados. A Figura 4.35 mostra a configuração do bloco “**Process 1**”, que também se aplica ao bloco “**Process 2**”.

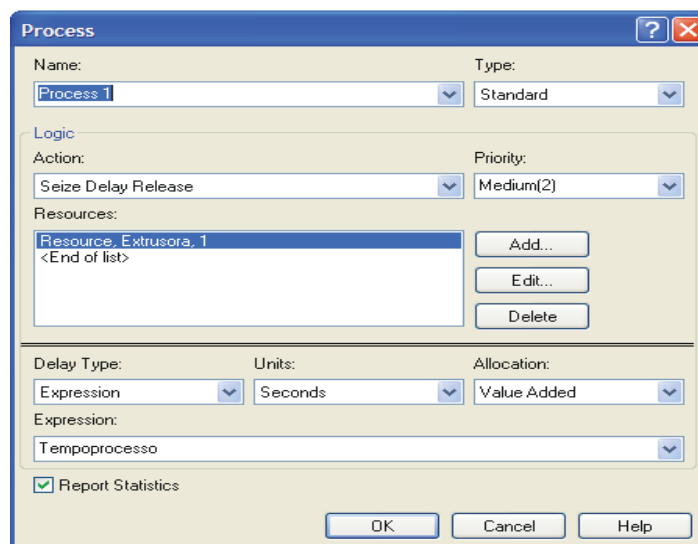


Figura 4.35: Configuração do bloco “Process 1”.  
Fonte: Extraída do software Arena.

O próximo bloco é o “**Route 4**”, de onde se envia as entidades após o corte para a estação “**Esteira**”, para chegar ao bloco “**Process 3**”. Deste bloco, diferentemente do modelo simulado por Aragão (2010), as entidades não seguem para a prensa e sim para a estação “**Inspeção**”, através do bloco “**Route 5**”.

Em seguida, para o bloco “**Telha sem defeito?**”, verificando a qualidade das telhas ao buscar identificar alguma deformidade. Se houver defeito, as telhas passam pelo bloco “**Route 6**” para serem enviadas à estação “**Retrabalho**”. Caso contrário, se não houver a identificação de defeito da telha extrudada, esta segue para o bloco “**Telhas na esteira**”, passando pelo “**Route 7**” para chegar no bloco “**Esteira 2**”, de onde as telhas devem ser retiradas rapidamente pelos operários e empilhadas nos pallets.

No processo do teste industrial foram usados 05 operários, sendo 01 na extrusora e 01 no corte, como descrito anteriormente. Os outros 03 operários ficaram posicionados ao lado da esteira para a retirada e empilhamento das telhas. Desta forma, as entidades seguem para o bloco “**Qual operario da esteira esta livre?**”, verificando a disponibilidade dos recursos. Assim que um operário é liberado, este recurso é alocado pela telha que estiver na frente na esteira.

Se o primeiro operário estiver livre, as entidades são enviadas para a estação “**Auxiliar da Esteira 1**” através do bloco “**Route 8**”, para serem

processadas no bloco “**Process 4**” e enviadas pelo bloco “**Route 11**” para a estação “**Prateleiras**”. Da mesma forma, caso o segundo operário esteja livre, pelo bloco “**Route 9**”, as entidades são enviadas à estação “**Auxiliar da Esteira 2**”, para serem processadas no bloco “**Process 5**”, prosseguindo para a estação “**Prateleiras**” através do bloco “**Route 12**”. E, finalmente, se o terceiro operário estiver livre, as entidades seguirão para estação “**Auxiliar da Esteira 3**” por meio do bloco “**Route 10**”, sendo processadas no bloco “**Process 6**”, seguindo por meio do bloco “**Route 13**” para a estação “**Prateleiras**”. A Figura 4.36 apresenta a configuração do bloco “**Qual operario da esteira esta livre?**”.

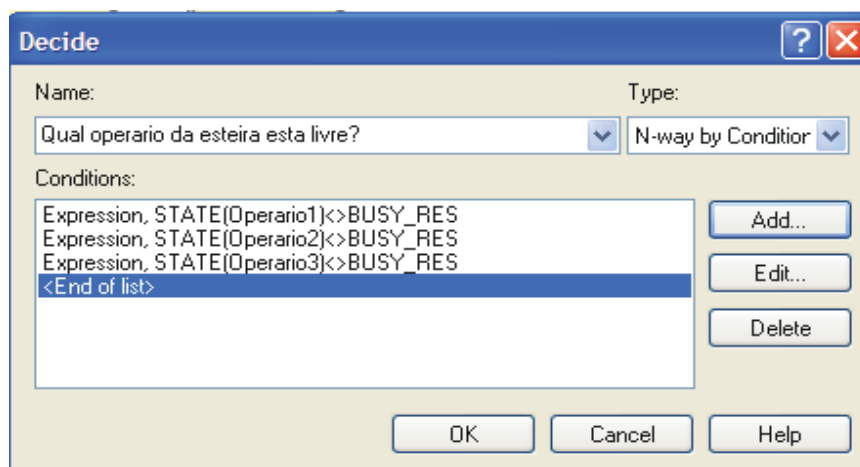


Figura 4.36: Configuração do bloco “Qual operario da esteira esta livre?”.  
Fonte: Extraída do software Arena.

Dando continuidade, ao passar pelo bloco “**Tempo no Sistema**”, o tempo médio que cada entidade passa por todo o processo é calculado a partir da armazenagem dos tempos individuais das entidades. E, por fim, a saída do sistema é representada pelo bloco “**Saida**”.

Como exposto, o software Arena 14.7 foi utilizado como ferramenta a fim de obter o desempenho do processo, a partir do teste industrial. Não há a intenção de desenvolver sistemas mais avançados e sim empregá-lo como ferramenta de apoio para a indústria parceira utilizá-lo nas suas rotinas de processamento.

A seguir, a viabilidade financeira é apresentada por meio da TOR – Teoria das Opções Reais.

### 4.3.6 Análise da Viabilidade Econômico-Financeira

Para realizar a avaliação da viabilidade econômico-financeira foi utilizada a TOR – Teoria das Opções Reais, a fim de verificar como variáveis específicas deste processo de fabricação e do mercado cerâmico campista influenciam o retorno sobre este investimento. Desta forma, a formulação de uma massa cerâmica própria para telhas de coloração clara, juntamente com o processo de conformação por extrusão, foi analisada antes de ser desenvolvida.

Para aplicar a TOR, foi necessário calcular o  $VPL_{\text{estratégico}}$  e o  $VPL_{\text{operacional}}$ . Antes, porém, foi preciso estimar o fluxo de caixa gerado a partir da produção das telhas cerâmicas extrudadas.

#### 4.3.6.1 Fluxo de caixa

Ao iniciar a avaliação econômico-financeira, indica-se a montagem do fluxo de caixa gerado pelo investimento a fim de identificar a recuperação do que foi investido e sua remuneração. Este valor foi projetado a partir das estimativas iniciais do investimento para a produção de telhas, assim como a consideração do retorno financeiro que deverá ser obtido pela comercialização das mesmas.

Para elaborar o fluxo de caixa, a Figura 4.37 apresenta os principais dados segundo Rodrigues (2014).

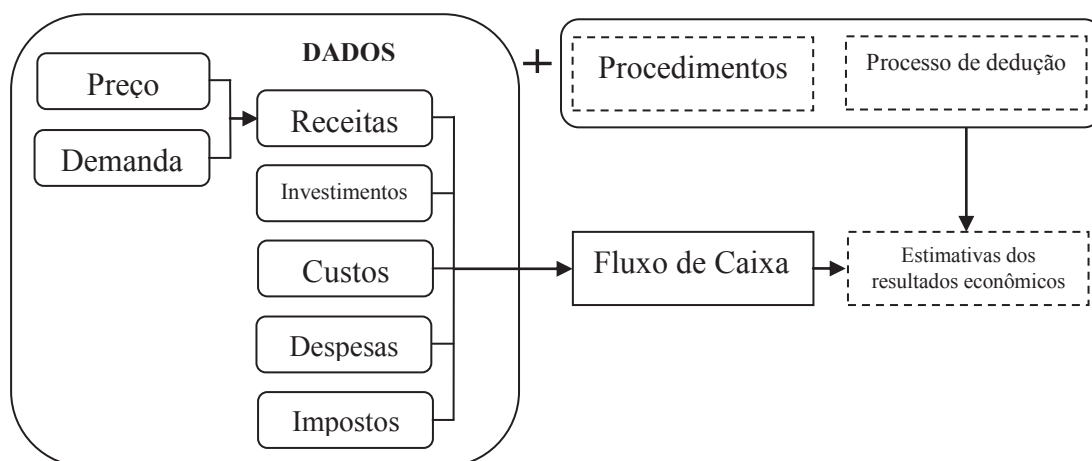


Figura 4.37: Os principais dados para a elaboração do fluxo de caixa.  
Fonte: Adaptado de Rodrigues (2014).

Seguindo a sugestão de Rodrigues (2014), uma planilha foi utilizada para preencher os elementos necessários à elaboração do fluxo de caixa. Trata-se de uma planilha de fácil preenchimento que serve para organizar os dados e conhecimentos sobre o investimento. No caso da proposta deste trabalho, através de entrevistas realizadas na cerâmica parceira, foram levantadas projeções quanto à fabricação das telhas extrudadas.

Os primeiros dados a serem preenchidos tratam do estabelecimento das fases do ciclo de vida do investimento, considerando um horizonte de tempo para o planejamento do fluxo de caixa, como apresenta a Figura 4.38. No caso deste trabalho, considerou-se como prazo 78 meses.

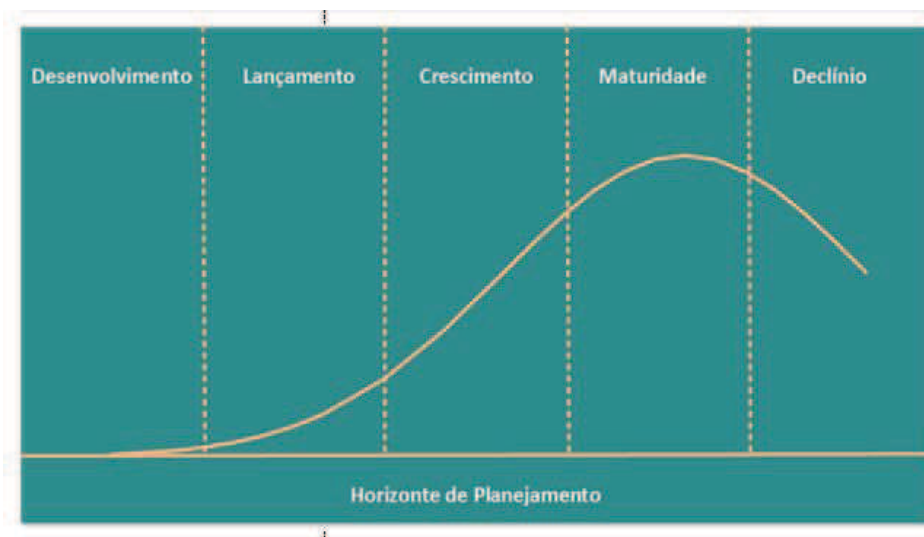


Figura 4.38: Fases do ciclo de vida do investimento.  
Fonte: Extraída de Rodrigues (2014).

Com isso, optou-se por adotar como estimativa de venda, na fase de lançamento das telhas, a quantidade que se pretende produzir mensalmente, uma média de 16.000 peças. Foi definido um período de 06 meses para lançar as telhas extrudadas de coloração clara no mercado consumidor. Nesta fase, é importante a divulgação das telhas extrudadas nos pontos de venda, destacando as propriedades comprovadas nesta tese. Deve-se também promover uma divulgação intensa junto aos vendedores, distribuindo informativos para serem entregues aos consumidores finais.

Por meta, um aumento de 5% por trimestre foi determinado para projetar as vendas na fase de crescimento, entendendo a importância de conquistar os

primeiros lugares em venda nos pontos de venda já estabelecidos. Da mesma forma, deve haver um esforço para alcançar novos mercados, identificando novos pontos de venda em diferentes cidades da região já atendida. Para esta fase, de forma experimental, foram definidos 12 meses.

Para a fase de maturidade, compreendendo um período de 36 meses, é importante tentar manter a quantidade média de peças vendidas. Nesta fase, a cerâmica parceira deve se esforçar para conservar a imagem de qualidade das telhas extrudadas, preservando os níveis de venda conquistados até o momento. A quantidade média de peças vendidas mensalmente foi projetada em 21.000 telhas.

Na fase de declínio, embora os esforços produtivos e mercadológicos sirvam para retardá-la, pode haver uma queda gradativa das vendas. A proposta deste trabalho é que ocorra a oferta de novos modelos de telhas, buscando minimizar os efeitos do tempo, diversificando a oferta de produtos. Considerando que a telha é um produto muito procurado independente da época, o importante é estar atento e se readaptar às construções vigentes. Desta forma, o período sugerido compreende 12 meses, com uma leve queda nas vendas, pressupondo a introdução de novos modelos de telhas extrudadas.

A Figura 4.39 apresenta como as fases do ciclo de vida do investimento na fabricação de telhas extrudadas foram organizadas. Através da planilha, pode-se observar o horizonte de tempo de 06 anos e 06 meses para desenvolver este planejamento de fluxo de caixa.



	B	C	D	E		B	C	D	E
	ano	data	fase da vida do produto			ano	data	fase da vida do produto	
1					1				
2	1	ago-17	fase I		22	2	jun-19	fase III	
3	1	set-17	fase I		23	2	jul-19	fase III	
4	1	out-17	fase I		24	2	ago-19	fase III	
5	1	jan-18	fase I		25	2	set-19	fase III	
6	1	fev-18	fase I		26	3	out-19	fase III	
7	1	mar-18	fase I		27	3	nov-19	fase III	
8	1	abr-18	fase I		28	3	dez-19	fase III	
9	1	mai-18	fase I		29	3	jan-20	fase III	
10	1	jun-18	fase I		30	3	fev-20	fase III	
11	1	jul-18	fase I		31	3	mar-20	fase III	
12	1	ago-18	fase I		32	3	abr-20	fase IV	
13	1	set-18	fase I		33	3	mai-20	fase IV	
14	2	out-18	fase II		34	3	jun-20	fase IV	
15	2	nov-18	fase II		35	3	jul-20	fase IV	
16	2	dez-18	fase II		36	3	ago-20	fase IV	
17	2	jan-19	fase II		37	3	set-20	fase IV	
18	2	fev-19	fase II		38	4	out-20	fase IV	
19	2	mar-19	fase II		39	4	nov-20	fase IV	
20	2	abr-19	fase III		40	4	dez-20	fase IV	
21	2	mai-19	fase III		41	4	jan-21	fase IV	
22	2	jun-19	fase III		42	4	fev-21	fase IV	
43	4	mar-21	fase IV		64	6	dez-22	fase IV	
44	4	abr-21	fase IV		65	6	jan-23	fase IV	
45	4	mai-21	fase IV		66	6	fev-23	fase IV	
46	4	jun-21	fase IV		67	6	mar-23	fase IV	
47	4	jul-21	fase IV		68	6	abr-23	fase V	
48	4	ago-21	fase IV		69	6	mai-23	fase V	
49	4	set-21	fase IV		70	6	jun-23	fase V	
50	5	out-21	fase IV		71	6	jul-23	fase V	
51	5	nov-21	fase IV		72	6	ago-23	fase V	
52	5	dez-21	fase IV		73	6	set-23	fase V	
53	5	jan-22	fase IV		74	7	out-23	fase V	
54	5	fev-22	fase IV		75	7	nov-23	fase V	
55	5	mar-22	fase IV		76	7	dez-23	fase V	
56	5	abr-22	fase IV		77	7	jan-24	fase V	
57	5	mai-22	fase IV		78	7	fev-24	fase V	
58	5	jun-22	fase IV		79	7	mar-24	fase V	
59	5	jul-22	fase IV		80	7			
60	5	ago-22	fase IV		81	7			
61	5	set-22	fase IV		82	7			
62	6	out-22	fase IV		83	7			
63	6	nov-22	fase IV		84	7			

Figura 4.39: As fases do ciclo de vida do investimento na fabricação de telhas extrudadas.

Fonte: Extraída da planilha de Rodrigues (2014).

Ressalta-se que, adotando a recomendação de Rodrigues (2014), manteve-se a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 20% ao ano, como taxa de desconto para a determinação do prazo de recuperação do capital investido.

A próxima aba que foi preenchida trata das estimativas de vendas, descritas anteriormente por fases, as quais geraram um fluxo de receitas mensais. A planilha sugere uma estrutura de impostos que pode ser adaptada conforme a realidade da empresa em questão. No caso da cerâmica parceira descrito aqui, infelizmente não houve acesso às informações. Portanto, a estrutura de impostos proposta como padrão foi acatada.

Destacando que a empresa parceira possui em sua carteira de produtos 14 itens, os custos e despesas aqui relacionados foram rateados tentando obedecer a uma proporção quanto ao percentual vendido. Salienta-se também a carência de dados mais claros sobre os resultados de produção e vendas. Então, os números aqui considerados servem somente como exemplos que devem ser, num segundo momento, aprimorados. Com isso, no rateio, adotou-se um percentual de 25% dos custos e despesas informados oralmente nas entrevistas ocorridas. Assim, os 03 produtos mais vendidos foram considerados para dividir o total de gastos com a produção de telhas extrudadas. Um exemplo dessa divisão aconteceu com os salários dos funcionários. São 17 funcionários, sendo 02 da administração, incluindo o pró-labore do proprietário, conforme demonstra a Figura 4.40.

	A	B	C	D	E	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
	área	função	tipo pessoa	referência salário	peçoas na fase IV	peçoas na fase V	salário mensal fase I	salário mensal fase II	salário mensal fase III	salário mensal fase IV	salário mensal fase V			
1														
2	Pessoal de produção	Operario	MO direta	produto	15	15	452	6.780	6.780	6.780	6.780			
3	Pessoal administrativo	Administrativo	MO indireta	serviço	2	2	0	1.608	1.608	1.608	1.608			
4	Proprietario	Direção	MO indireta	serviço	1	1	3.215	3.215	3.215	3.215	3.215			
28								#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!		

Figura 4.40: Relação dos funcionários da cerâmica com seus respectivos salários proporcionais.

Fonte: Extraída da planilha de Rodrigues (2014).

Quanto às matérias-primas utilizadas na massa cerâmica, dentro das proporções definidas no item 4.3.4, e seguindo as informações fornecidas pela direção da cerâmica parceira, os custos são apresentados pela Tabela 4.3, a seguir.

Tabela 4.3: Custo das matérias-primas por caçamba.

<b>Matéria-prima</b>	<b>Custo/ton</b>	<b>Quantidade necessária/caçamba</b>	<b>Custo/Matéria-prima</b>
Areia	R\$17,00	3,3 ton	R\$56,10
RRO	R\$30,00	2,3 ton	R\$69,00
Argila	R\$15,00	10,4 ton	R\$156,00
Total			R\$281,10

Fonte: Elaborada pela autora.

Segundo informações da direção da cerâmica, com o material contido em cada caçamba do caminhão, 16 toneladas aproximadamente, é possível fabricar cerca de 4.500 telhas extrudadas. Desta forma, para atingir a quantidade de 16.000 telhas mensais, meta estabelecida para a fase de lançamento, serão necessárias mais ou menos 57 toneladas de material, quase 04 caçambas completas. Com isso, o custo de material para a fabricação mensal das telhas extrudadas ficaria em torno de R\$1.000,00.

Outro custo considerado na produção foi o do uso da lenha como combustível para o forno abóbada, utilizado para a queima das telhas extrudadas. A cada fornada, são necessários 40m<sup>3</sup> aproximadamente, a um valor de R\$55,00/m<sup>3</sup>. Todavia, o forno tem a capacidade de 48.000 peças, mais ou menos, dividindo o espaço com os demais produtos oferecidos pela cerâmica. Assim, o total de R\$2.200,00 gastos com o combustível também foi rateado com os 03 produtos mais vendidos, chegando ao valor de R\$550,00 para ser adicionado à planilha.

Como investimento inicial, não foi preciso relacionar nenhum valor porque todos os equipamentos necessários ao processo de fabricação das telhas extrudadas já existem nas instalações da cerâmica parceira. O maquinário pode e será compartilhado com a produção dos demais itens da carteira da cerâmica. O que deveria ser feito e realmente acontece é uma manutenção periódica e reposição das ferramentas que já se encontram desgastadas. Porém, os valores gastos com essa manutenção não foram divulgados.

Portanto, considerando todos os dados até aqui descritos, o fluxo de caixa foi montado para servir como base para o cálculo do VPL (Valor Presente Líquido).

#### 4.3.6.3 Valor Presente Líquido

O Valor Presente Líquido (VPL) foi calculado a partir dos valores que compõem o fluxo de caixa descrito anteriormente, através da Fórmula 3, contida na planilha de Rodrigues (2014) utilizada neste trabalho.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - FC_0 \quad (3)$$

Onde:

$FC_0$ : fluxo de caixa verificado no momento zero (momento inicial), podendo ser um investimento, empréstimo ou financiamento;

$FC_t$ : representa o valor de entrada (ou saída) de caixa previsto para cada intervalo de tempo;

$i$ : é a taxa de desconto;

$n$ : período de tempo.

#### 4.3.6.4 Teoria das Opções Reais – TOR

Como descrito no Capítulo 3 desta tese, a Teoria das Opções Reais foi escolhida como técnica para analisar a viabilidade econômico-financeira da produção de telhas cerâmicas extrudadas e de coloração clara por buscar reconhecer o valor das flexibilidades gerenciais inerentes ao investimento. Ou seja, conforme chegam novas informações, novas decisões de investimento podem ser incorporadas ao projeto antes pensado. E, então, recalculá-lo com o intuito de comparar as alternativas para tomar uma decisão mais apropriada.

Opções reais tratam de estratégias mais flexíveis que devem ser incluídas no cálculo do VPL. Estratégias flexíveis que tentem refletir as oportunidades de mercado, tornando-se alternativas mais viáveis de investimento para a empresa e buscando interpretar condições variáveis

internas que favoreçam a adoção das estratégias escolhidas. Assim, adotando a opção de expandir como proposta, conforme caracterização de Rodrigues (2014), este trabalho sugere duas opções reais: (1) aproveitar a massa cerâmica composta para produzir o tijolo maciço branco (TMB) sequencialmente à produção de telhas. Rapidamente, seria possível trocar a boquilha e o cortador usufruindo da disponibilidade do ritmo de trabalho dos operários envolvidos no processo, visto que o TMB é o produto de maior percentual de vendas atualmente. Como segunda opção real, (2) buscar introduzir simultaneamente outro modelo de telha ao adquirir uma nova boquilha. Poderia ser a telha americana, por exemplo, pois já está consolidada no mercado.

Para a opção (1) – aproveitar a massa cerâmica composta para produzir o tijolo maciço branco (TMB), foi necessário mais uma caçamba com as matérias-primas misturadas, que custou cerca de R\$1.000,00, assim como a empregada na produção de telhas. Quanto à opção (2) – introduzir simultaneamente outro modelo de telha ao adquirir uma nova boquilha, uma nova boquilha foi adquirida no valor R\$3.500,00, e, tal qual a opção (1), mais uma caçamba de material foi utilizada no valor de R\$1.000,00.

O VPL considerando cada opção foi calculado e, para a primeira opção, admitiu-se que tinha cerca de 80% de ocorrência por se tratar de uma prática já conhecida. Enquanto que a segunda opção foi acolhida com 20% de ocorrência, entendendo que a telha por si só já é um produto diversificado.

Desta forma, o valor das opções reais foi calculado pela Fórmula 16, expressa a seguir.

$$\text{Valor da Opção Real} = \text{VPL}_{\text{expandido}} - \text{VPL}_{\text{tradicional}} \quad (16)$$

Assim como, o valor do prêmio que representa a quantidade que deve ser investida para adquirir a opção.

$$\text{Prêmio} = \text{investimento com a opção} - \text{investimento sem a opção} \quad (17)$$

O Capítulo que se segue trata de apresentar e discutir os resultados obtidos nesta tese.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste Capítulo, são apresentados e discutidos os resultados obtidos.

### 5.1 Caracterização das Matérias-Primas

#### 5.1.1 Caracterização química

A Tabela 5.1 apresenta a composição química elementar das matérias-primas. Dentre as argilas consideradas, observa-se a semelhança química entre elas e a predominância dos óxidos  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . A sílica,  $\text{SiO}_2$ , normalmente encontra-se como quartzo ou com  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , formando a estrutura cristalina de diversos argilominerais. Contudo, outros minerais também contendo  $\text{SiO}_2$  podem ser encontrados nas argilas. Por exemplo, alguns silicatos, como feldspatos e micas. No caso da alumina,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , pode aparecer nas argilas como gibbsita, hidróxido de alumínio ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ), ou até mesmo como boemita ( $\text{AlOOH}$ ) (AMARAL, 2016, apud MONTEIRO e VIEIRA, 2002; SANTOS *et. al*, 2009).

Tabela 5.1: Composição química das matérias-primas utilizadas nas formulações de massa.

Matérias-primas / Óxidos	Argila PG	Argila CA	Argila CZ	RRO	Areia
$\text{SiO}_2$	45,95	49,34	47,04	67,14	83,53
$\text{Al}_2\text{O}_3$	32,22	30,71	32,56	14,92	9,02
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3,10	3,66	3,48	4,40	1,63
$\text{TiO}_2$	1,18	1,21	1,29	0,73	0,64
$\text{K}_2\text{O}$	0,68	0,99	1,01	5,18	2,16
$\text{MgO}$	0,46	0,61	0,55	0,73	0,35
$\text{CaO}$	0,25	0,22	0,24	1,91	0,59
$\text{Na}_2\text{O}$	0,22	0,24	0,34	2,93	0,86
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,12	0,10	0,10	<0,05	<0,05
$\text{MnO}$	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
<b>Perda ao Fogo</b>	15,82	12,91	13,39	0,50	1,17

Sabendo que as argilas oriundas de Campos dos Goytacazes/RJ contêm a caulinita como argilomineral predominante, considera-se a razão  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  como indicador da quantidade de argilominerais e quartzo

presentes. Quanto mais próxima esta relação for de 1,18 (valor correspondente à caulinita teórica), maior quantidade de caulinita presente na argila (VIEIRA; SOARES; MONTEIRO, 2003). No caso das argilas PG, CA e CZ analisadas, as relações existentes são de 1,42; 1,61 e 1,44 respectivamente. Com isso, apesar do valor muito próximo à argila CZ, a argila PG apresenta maior quantidade de caulinita e menor teor de SiO<sub>2</sub> livre na forma de quartzo, quando comparada às duas outras argilas, todas as três sendo indicadas à produção de cerâmica vermelha.

Na maioria das argilas, o óxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) está presente em teores menores que 2%. Nas três argilas estudadas neste trabalho, não foi diferente. Portanto, quase não provoca alteração nas propriedades tecnológicas das cerâmicas. Rutilo, ilmenita e anatásio são as fases cristalinas deste óxido que mais são encontradas nas argilas.

No que diz respeito ao óxido de ferro, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, é o óxido cromóforo mais encontrado nas argilas queimadas, influenciando na coloração das peças cerâmicas. Nas argilas, os minerais à base de ferro mais encontrados são a goethita (FeO(OH)), a hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), magnetita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.FeO), pirita (FeS<sub>2</sub>) e limonita (Fe(OH)<sub>3</sub>.nH<sub>2</sub>O), conforme Santos (1989). A coloração avermelhada, típica das cerâmicas vermelhas, pode ser observada a partir de 2,5% de teor de ferro. Contudo, teores próximos a 3% são indicados para a fabricação de peças com coloração mais claras (BABISK, 2015). As argilas PG, CA e CZ correspondem a valores baixos de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> confirmando a indicação para a produção das telhas claras.

Porém, às vezes, não há relação entre a cor da cerâmica e a quantidade de óxidos de ferro identificados na análise química. Isto porque o ferro pode estar formando vidros ao encontrar-se misturado a outros componentes da argila. Conserva et. al. (2014) explicam que, além disso, a formação de mulita pode influenciar muito a cor de queima porque pode absorver alguns íons de ferro. E, em atmosfera oxidante, todos os compostos de ferro se transformam em hematita pela desidroxilação, e/ou pela oxidação. Assim, sendo responsável pela coloração avermelhada na peça queimada.

Em relação aos óxidos fundentes, Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O, facilitam a formação de fase líquida necessária à consolidação das partículas, compreendendo o principal mecanismo de sinterização da cerâmica vermelha. Com isso,

contribuem para a eliminação de porosidade (aberta e fechada), melhorando a resistência mecânica, reduzindo a absorção de água e aumentando a retração linear na queima (AMARAL, 2016). No caso das argilas analisadas neste trabalho, as três apresentam baixos teores.

Os óxidos alcalinos-terrosos (CaO e MgO) aparecem também em baixas quantidades nas argilas estudadas. Santos (1989) explica que estes óxidos normalmente se associam aos carbonatos, estando presentes nas argilas nas formas de calcita, dolomita, gipsita e anortita, como identificado neste trabalho.

No que se refere à perda ao fogo, parâmetro que indica a presença de argilominerais e hidróxidos na massa cerâmica, as argilas PG, CA e CZ apresentam percentuais relativamente altos, de 12,91 a 15,82%. A perda ao fogo está relacionada à eliminação de água de constituição dos argilominerais e água de hidróxidos, além de matéria orgânica. A influência na perda ao fogo se dá por meio da liberação de componentes voláteis durante sua combustão, e de carbonatos e sulfatos, por causa da decomposição ao aquecer. Retração e porosidade após o processo de queima podem ser causadas por uma excessiva perda ao fogo, provocando uma diminuição da resistência mecânica. E, conseqüentemente, aumenta a absorção de água das peças queimadas.

O resíduo de rochas ornamentais é constituído por uma mistura de óxidos. Dentre eles, os de maior percentual são  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e CaO. A análise química do resíduo de rochas ornamentais também apresenta uma quantidade dos óxidos alcalinos e alcalinos-terrosos, podendo atuar como fundentes em altas temperaturas, melhorando o processo de sinterização. Nota-se também a baixa perda ao fogo, 0,50%, que o resíduo possui. Finalmente, a areia que, devido à sua natureza mineralógica, é composta essencialmente por  $\text{SiO}_2$ , ou seja, basicamente por quartzo.

A Tabela 5.2 demonstra a composição química da massa cerâmica MRRO, utilizada no teste industrial. Percebe-se a predominância dos óxidos  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , evidenciando a presença da caulinita, sabendo-se que a relação  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  é de 1,86. Os baixos teores dos óxidos  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$  confirmam a indicação para a fabricação das telhas claras. Observam-se também baixos teores de óxidos fundentes, destacando que houve uma redução da perda ao fogo da massa sugerida.



Tabela 5.2: Composição química da massa cerâmica MRRO utilizada no teste industrial.

Óxidos	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	PF
MRRO	52,20	28,07	3,46	1,20	1,31	0,64	0,30	0,37	0,11	<0,05	12,33

## 5.1.2 Caracterização mineralógica

### 5.1.2.1 Difração de Raios X

Os difratogramas de raios X das massas cerâmicas MPG, MCA, MCZ e MRRO são apresentados nas Figuras 5.1, 5.2, 5.3, 5.4. As quatro massas analisadas possuem composição mineralógica semelhante, com picos de caulinita ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), mica muscovita ( $\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$ ) e montmorilonita ( $\text{Al}_{3,33}\text{Mg}_{0,67}\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot \text{M}^{+1}_{0,67}$ ). Nota-se a presença do argilomineral caulinita, característico nas argilas da região de Campos dos Goytacazes/RJ (MONTEIRO e VIEIRA, 2004), responsável pela plasticidade das mesmas e resistência mecânica das peças conformadas. O quartzo está naturalmente presente nas argilas. Este mineral atua como matéria-prima não plástica, atuando de forma inerte no processo de queima. Mesmo assim, influi nas propriedades físicas da peça queimada, colaborando com o aumento da permeabilidade da peça, acelerando a secagem e diminuindo a contração de queima. A muscovita é um mineral dos grupos das micas (filossilicato), muito comum nos granitos e gnaisses. Por ter uma estrutura fina, pode gerar defeitos nas peças cerâmicas. Santos (1989) defende que a mica muscovita pode agir como material fundente caso possua partículas menores, por causa dos óxidos alcalinos presentes. A montmorilonita é um argilomineral com partículas muito finas, e grande capacidade de absorver moléculas de água.

Outros minerais podem ser identificados nas Figuras 5.1, 5.2, 5.3, 5.4. Por exemplo, na massa MPG, observa-se a presença da gibbsita ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ), material não desejável pela interferência nas propriedades das peças, como refratariedade e perda de massa; anortita ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ); microlina ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ); rutilo ( $\text{TiO}_2$ ); e, estilbita ( $\text{NaCa}_4(\text{Si}_{27}\text{Al}_9)\text{O}_{72} \cdot 28\text{H}_2\text{O}$ ). A massa MCA também

apresenta alguns picos de gibbsita; estilbita; mulita ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ); e, sepiolita ( $(\text{Mg}_4(\text{Si}_2\text{O}_5)_3(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ ). No caso da massa MCZ, os picos indicam anortita; microlina; albita ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ); e, cordierita ( $\text{Al}_3(\text{Mg,Fe})_2\text{Si}_5\text{AlO}_{18}$ ). Quanto à massa MRRO, além da anortita, gibbsita e microlina já identificadas nas demais, há também um pico significativo de goethita ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ). Destaca-se que a maioria dos minerais identificados possuem uma coloração mais clara, contribuindo para a cor das peças queimadas.

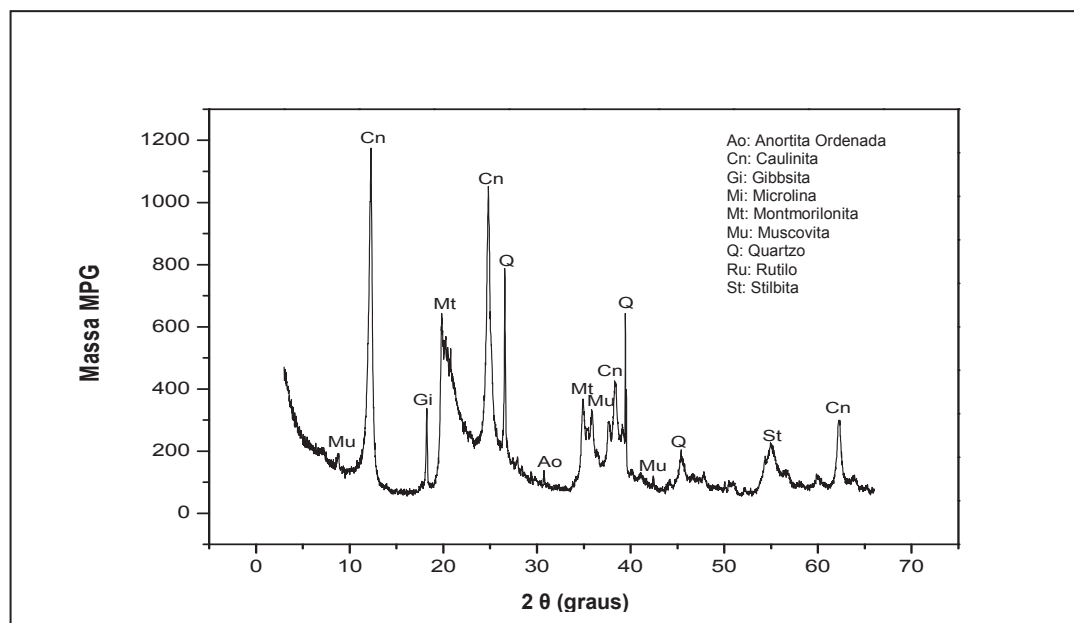


Figura 5.1: Difratoograma de raio X da massa MPG.

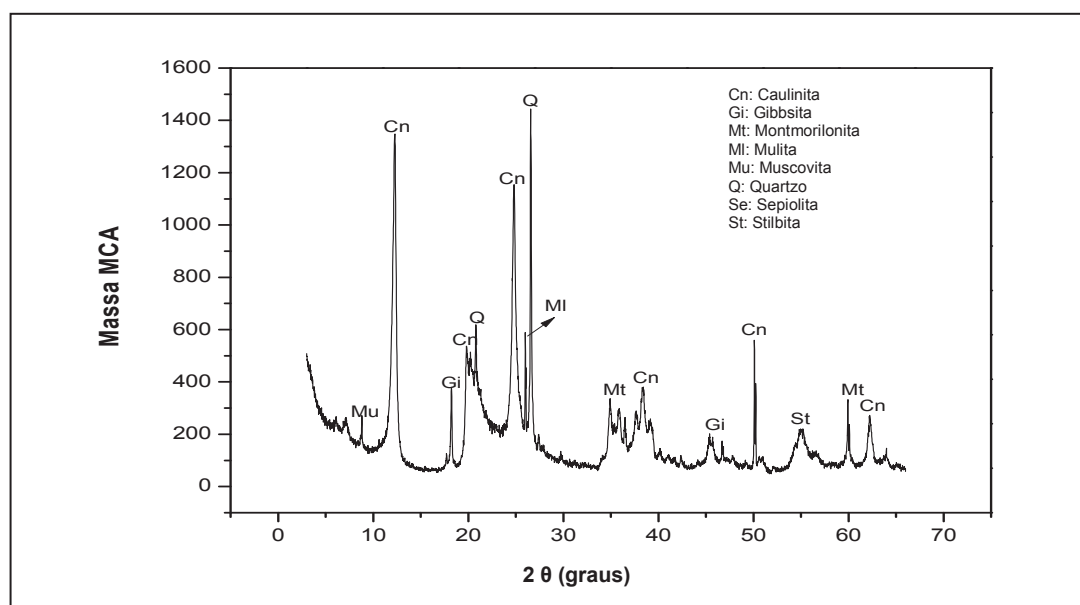


Figura 5.2: Difratoograma de raio X da massa MCA.

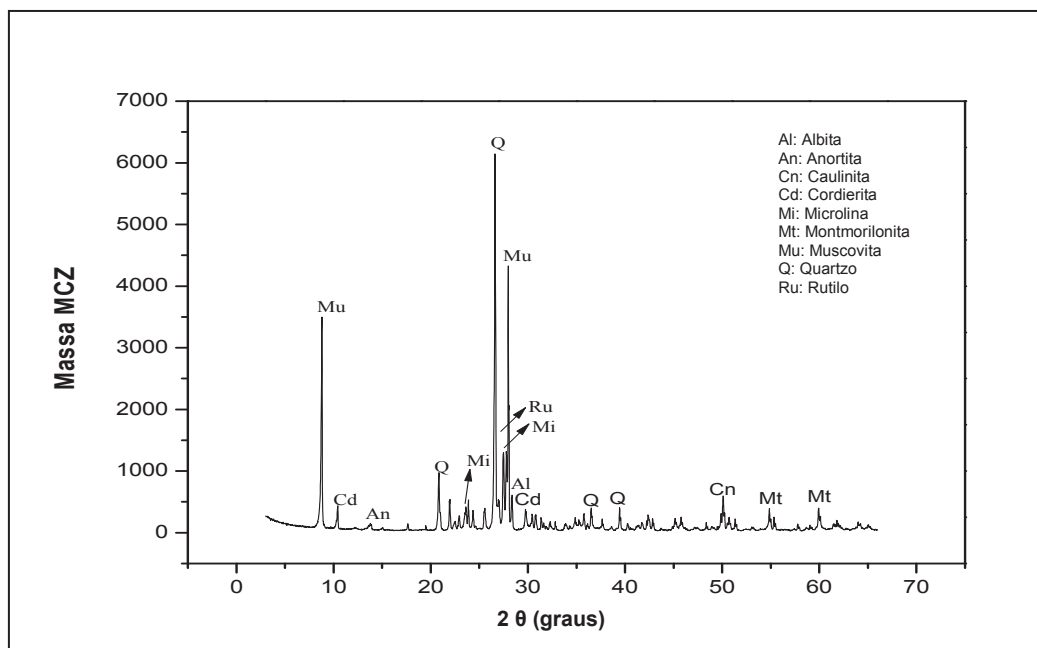


Figura 5.3: Difratoograma de raio X da massa MCZ.

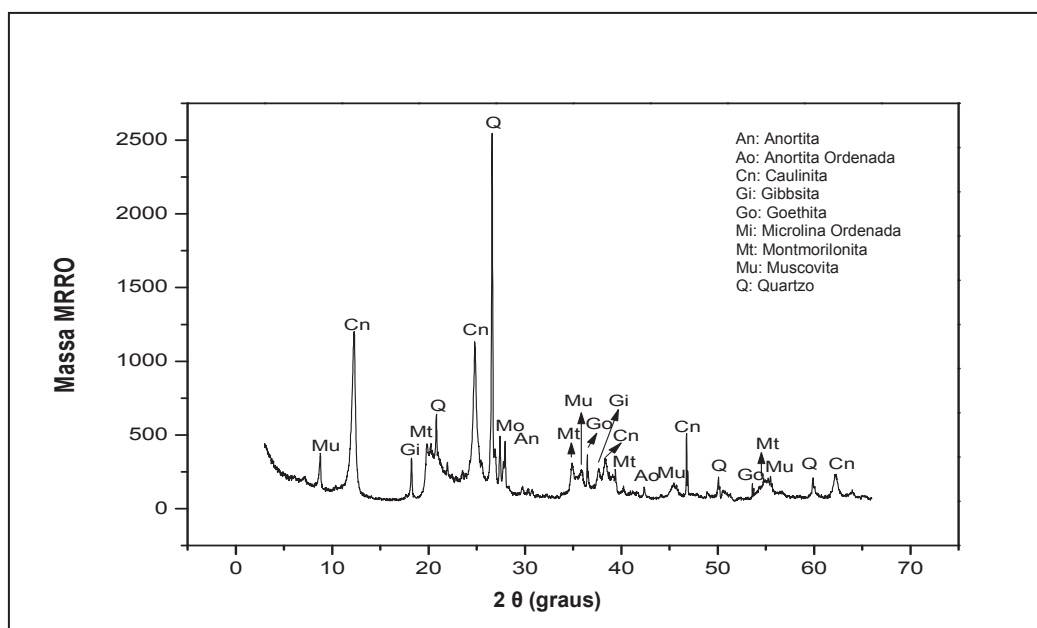


Figura 5.4: Difratoograma de raio X da massa MRRO.

### 5.1.2.2 Dilatometria

As transformações físicas e químicas ocorridas nas massas cerâmicas, geralmente, podem ser interpretadas por meio das transformações térmicas de variações dimensionais (contração e expansão) das amostras. Evaporação da

água livre, desidroxilação, oxidação, formação de fase e sinterização da peça cerâmica são exemplos das transformações térmicas verificadas no processo cerâmico.

As Figuras 5.5 e 5.6 apresentam as curvas dilatométricas das massas utilizadas neste trabalho. As curvas das massas MPG e MCA obtiveram um comportamento dilatométrico semelhante quanto à forma e às tendências. Do mesmo modo, as curvas das massas MCZ e MRRO também são similares, ressaltando a existência de argila cinza na composição de ambas.

Observando a Figura 5.5, percebe-se uma contração do corpo de prova a partir de 100°C até 200°C, havendo uma posterior estabilização, que se manteve até a temperatura aproximada de 500°C. Por ser uma leve contração a uma temperatura baixa, pode se referir à eliminação da água utilizada para umedecer o corpo de prova na conformação.

Por volta de 550°C, ocorre uma contração mais forte com um declive acentuado. Este fenômeno deriva da transformação da caulinita em metacaulinita, fazendo com que as partículas transformadas se tornassem mais densas. A contração pode também ter ocorrido pelas ligações entre as partículas de metacaulinita transformadas recentemente.

A partir de 570°C, até 600°C aproximadamente, acontece a mudança alotrópica do quartzo. Nesta transformação, as partículas de quartzo se expandem e, conseqüentemente, a estrutura também. Todavia, ao mesmo tempo ocorre a sinterização sólida dos grãos de argila, que começou no surgimento da metacaulinita, provocando uma contração da estrutura. Portanto, são dois fenômenos concorrentes e o que determina o tamanho da curvatura será quantidade de quartzo das massas.

Depois dos 860°C, o evento que continua é a sinterização, consolidando as partículas nas cerâmicas argilosas. Desta forma, contribui para a resistência mecânica, diminuindo a porosidade.

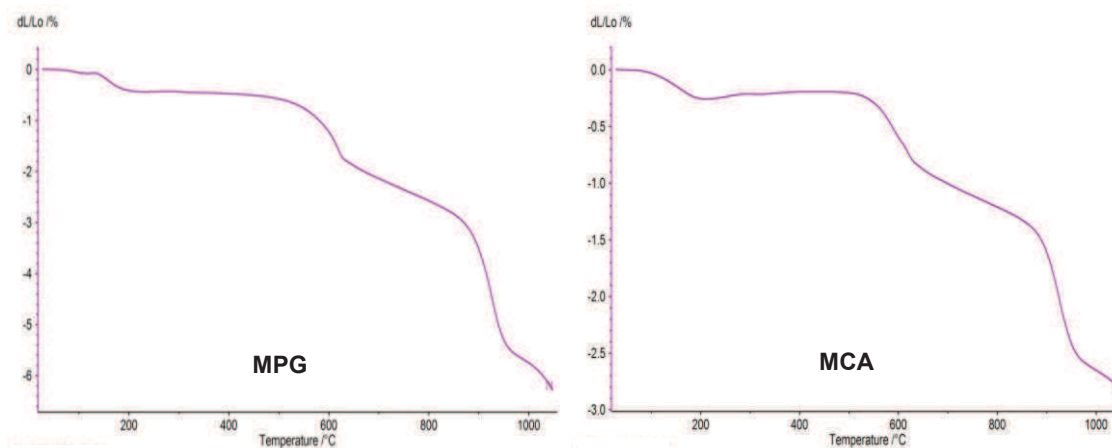


Figura 5.5: Dilatometria das massas MPG e MCA.

As curvas dilatométricas das massas MCZ e MRRO, apresentadas na Figura 5.6, também são similares, destacando-se a existência da argila cinza na composição de ambas.

No caso da massa MCZ, nota-se que houve, possivelmente, a evaporação da água do corpo conformado, com uma contração entre as temperaturas de 100 e 200°C. Na massa MRRO, essa contração foi bem discreta, mas antes dos 200°C, a estrutura começa a expandir. A expansão de ambas as massas pode ter resultado do arranjo dos átomos da sílica. Pode significar também uma quantidade considerável de quartzo ao rearrumar a disposição de seus átomos. Com isso, uma expansão considerável após 600°C devido à sua transformação alotrópica.

Entre 500 e 600°C, na massa MCZ, evidencia-se a transformação da caulinita em metacaulinita, provocando uma contração. Logo depois, há um pico de expansão para ambas as massas considerando a inversão do quartzo- $\alpha$ . Aos 800°C, nota-se retrações nas massas MCZ e MRRO, que pode ser causada pela perda das hidroxilas dos materiais argilosos. Após 900°C, a sinterização dos corpos de prova vai se completando, provocando a aproximação das partículas, aumentando a retração.

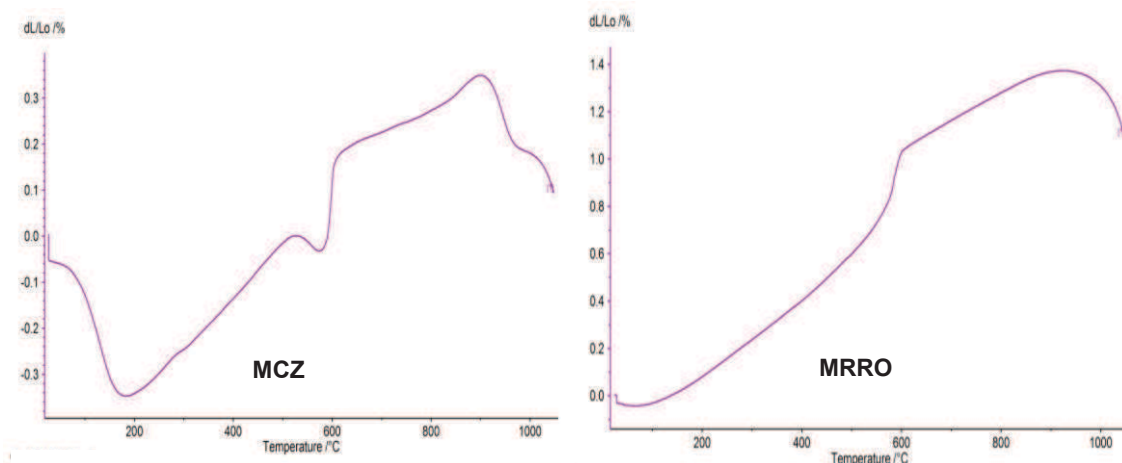


Figura 5.6: Dilatometria das massas MCZ e MRRO.

### 5.1.3 Caracterização física

#### 5.1.3.1 Análise granulométrica

A Tabela 5.3 apresenta resultados da distribuição de tamanho das partículas das amostras estudadas. Conforme a classificação da International Society of Soil Science, apud Santos (1989), os percentuais de partículas com diâmetro esférico equivalente menor que 2  $\mu\text{m}$  são conferidos à argila, o percentual situado na faixa entre 2 – 20  $\mu\text{m}$  corresponde ao silte e a fração areia corresponde às partículas maiores que 20  $\mu\text{m}$ . A partir destes parâmetros, observou-se que as cinco matérias-primas estudadas são constituídas por argila, silte e areia, e sua distribuição está descrita na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Distribuição de tamanho de partículas das matérias-primas utilizadas.

Matéria-prima	Composição granulométrica (%)		
	<2 $\mu\text{m}$	2–20 $\mu\text{m}$	>20 $\mu\text{m}$
PG	74,2	21	4,8
CA	59,7	27	13,3
CZ	61,3	28,7	10
RRO	17,2	32,4	49,4
Areia	0,1	4,2	95,6

As Figuras 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, apresentam a distribuição granulométrica das matérias-primas utilizadas nesta tese. As faixas de

diâmetro dos grãos contidas nas Figuras estão associadas à classificação argila, silte e areia, de acordo com o demonstrado na Tabela 5.3.

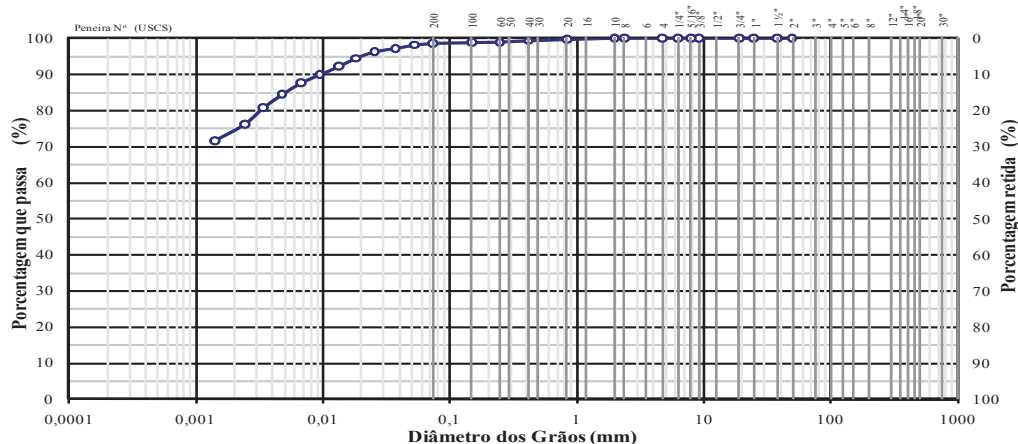


Figura 5.7: Distribuição granulométrica da argila PG.

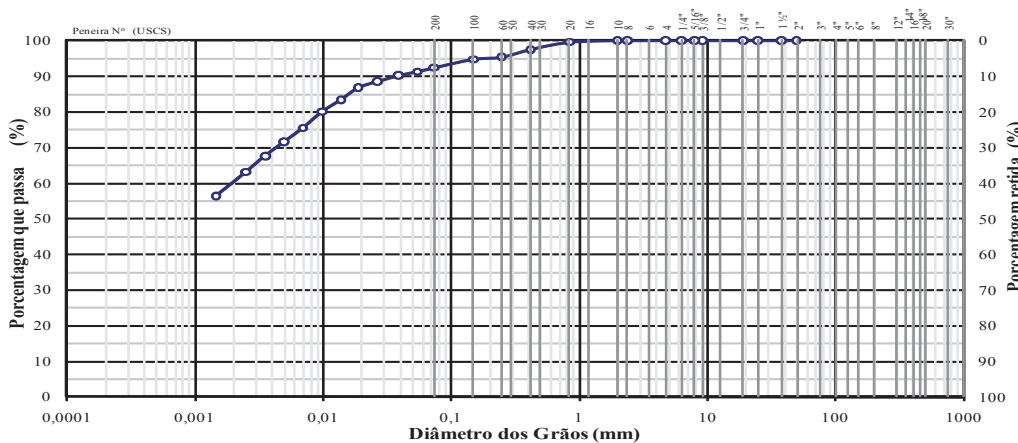


Figura 5.8: Distribuição granulométrica da argila CA.

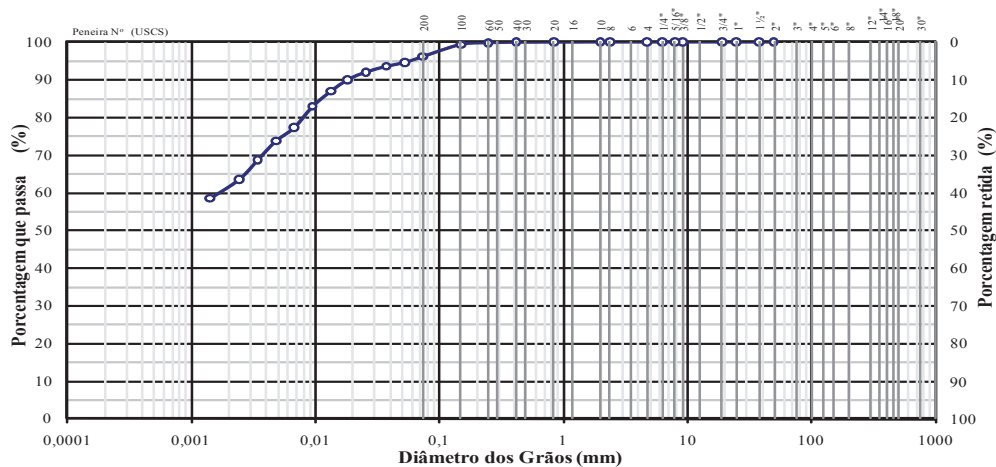


Figura 5.9: Distribuição granulométrica da argila CZ.

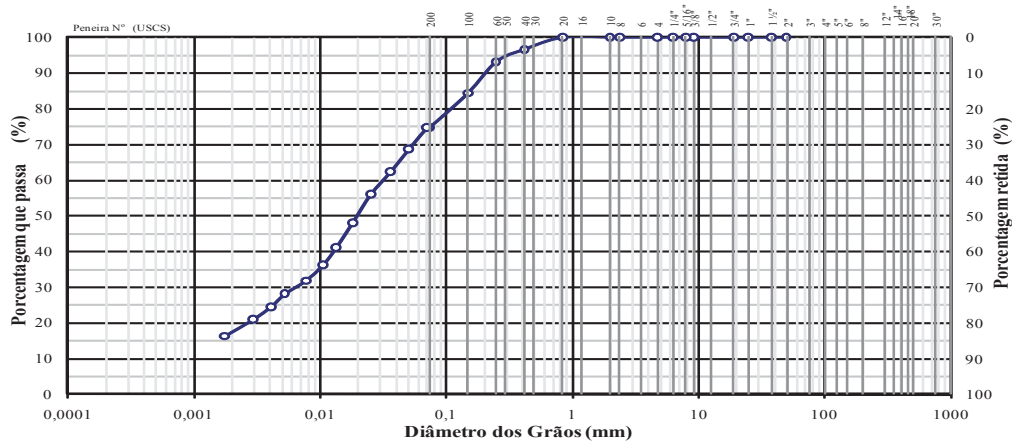


Figura 5.10: Distribuição granulométrica do resíduo de rocha ornamental.

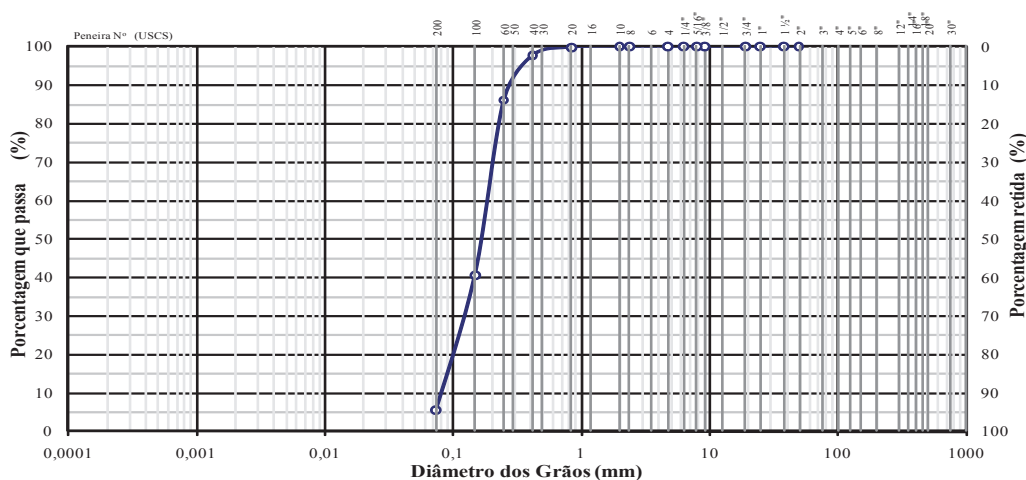


Figura 5.11: Distribuição granulométrica da areia.

No Diagrama de Winkler (Figura 5.12), posicionando as três argilas, nota-se que não seriam adequadas para serem utilizadas, de forma isolada, na fabricação de nenhum dos produtos cerâmicos. Contudo, sabendo-se que, para a fabricação de telhas, é necessária uma massa cerâmica plástica que contém partículas  $< 2 \mu\text{m}$  (entre 30 – 50%), optou-se por combinar a argila CZ ao resíduo de rocha ornamental (RRO) e à areia. A escolha destes materiais se deu devido ao objetivo de ajustar as proporções utilizadas pela cerâmica parceira na constituição da massa MRRO, como explicado no item 4.3.2. As demais massas (MPG, MCA e MCZ) foram sugeridas e experimentadas com o intuito de oferecer alternativas para a empresa.

O posicionamento no Diagrama de Winkler orientou a decisão pelas proporções a fim de direcionar a massa cerâmica formulada para a fabricação de telhas claras. A utilização do resíduo e da areia ajudou a deslocar a mistura



para a região inferior do diagrama, deixando-a mais próxima da fração areia. O resíduo de rocha ornamental apareceu como boa opção por seu considerável percentual de silte. As três argilas possuem valores próximos de densidade real dos grãos, sendo  $2,48 \text{ g/cm}^3$  para a argila PG,  $2,49 \text{ g/cm}^3$  para a CA e, para a argila CZ,  $2,51 \text{ g/cm}^3$ . Quanto ao resíduo, a densidade real dos grãos obteve o valor de  $2,62 \text{ g/cm}^3$ , próximo também ao da areia, de  $2,67 \text{ g/cm}^3$ .

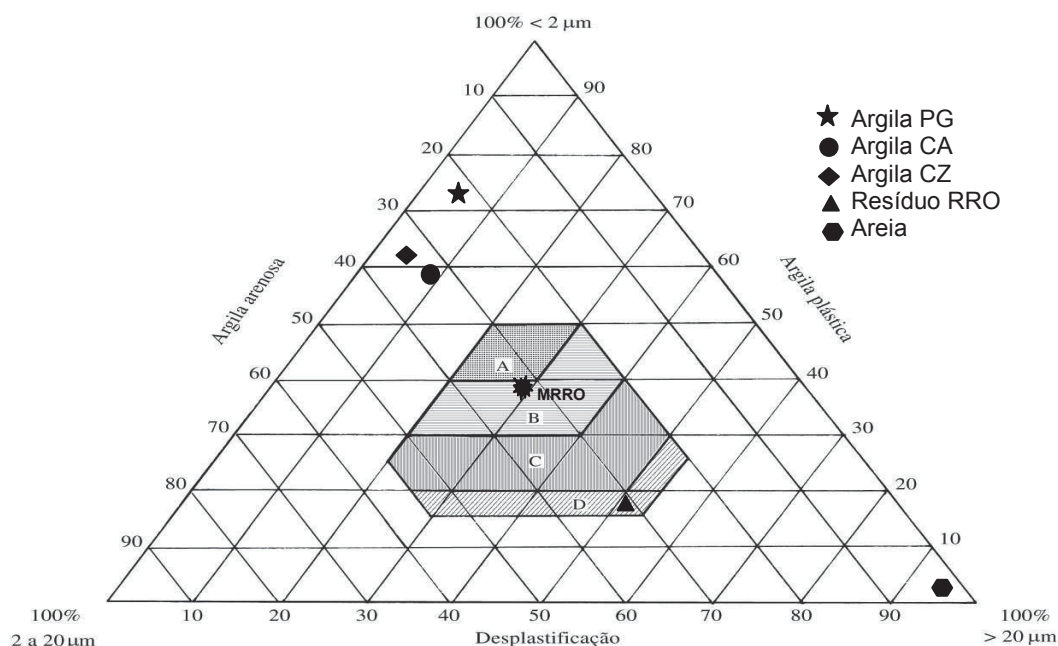


Figura 5.12: Posicionamento das matérias-primas no Diagrama de Winkler.

Seguindo o posicionamento demonstrado no Diagrama de Winkler, Figura 5.12, para a mistura da massa MRRO, combinou-se 65% da argila Cinza, 20% de areia e 15% resíduo de rochas ornamentais. As demais massas, MPG, MCA e MCZ, não foram acrescidas de materiais desplastificantes a fim de observar o comportamento das peças nos testes laboratoriais.

Na Tabela 5.4, consta a distribuição de tamanho de partículas da massa cerâmica MRRO, sugerida para a fabricação de telhas com coloração clara. Posicionando a massa MRRO no Diagrama de Winkler (Figura 5.12) de acordo com sua composição granulométrica, nota-se que a massa cerâmica formulada se localizou adequadamente na região apropriada para a produção de telhas.

Tabela 5.4: Distribuição de tamanho de partículas das matérias-primas utilizadas.

Massa	Composição granulométrica (%)		
	<2 $\mu\text{m}$	2–20 $\mu\text{m}$	>20 $\mu\text{m}$
MRRO	37,8	28,4	33,8

### 5.1.3.2 Plasticidade

Para a determinação da plasticidade dos solos, utiliza-se o método de Atterberg. Por meio deste método amplamente empregado, define-se os limites de liquidez (LL) e plasticidade (LP). Más (2002) explica que o limite de liquidez expressa o máximo de água que deve ser acrescentado à massa desde que não prejudique sua consistência plástica, com valores entre 30 e 60% no caso de conformação por extrusão (SANTOS, 1989). O limite de plasticidade aponta a quantidade mínima de água para modelar a massa cerâmica. Para o processo de extrusão, são aceitáveis valores de LP entre 15 e 30%. No que se refere ao índice de plasticidade (IP), que é a diferença entre o LL e o LP, deve ser de, no mínimo, 10%, e no máximo 35%, para não dificultar a conformação por extrusão. Se o valor do IP for menor que 10%, menos consistência plástica terá a massa cerâmica.

A Tabela 5.5 expõe os limites de Atterberg das massas estudadas, os quais foram plotados no gráfico apresentado na Figura 5.13. Marsigli e Dondi (1997) sugerem o uso deste gráfico para visualizar um prognóstico da etapa de conformação por extrusão das massas cerâmicas. Observando a Figura 5.13, percebe-se que a massa cerâmica formulada com resíduo de rocha ornamental e areia (MRRO) posiciona-se na região ótima para extrusão, antevendo um desempenho muito favorável para a fabricação das telhas cerâmicas extrudadas. Isto acontece devido à considerável quantidade de partículas grosseiras nesta massa, advindas do resíduo (alta quantidade de silte) e da areia. Estas partículas ajudam a reduzir o limite de plasticidade da massa argilosa, atuando como matérias-primas não-plásticas. Dentre as demais massas cerâmicas sugeridas, a que está mais próxima da região de extrusão aceitável é a MCA, podendo ser trabalhada para obter um desempenho favorável.

Tabela 5.5: Limites de Atterberg das massas cerâmicas utilizadas.

Massas	Limites de Atterberg (%)		
	LL	LP	IP
MPG	64,7	34,3	30,4
MCA	54,4	30,3	24,1
MCZ	56,9	30,7	26,3
MRRO	37,1	20,5	16,6

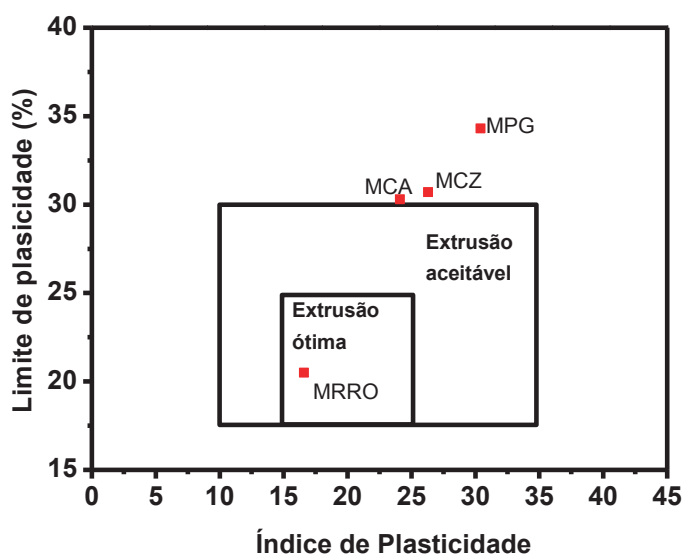


Figura 5.13: Prognóstico de extrusão das massas cerâmicas estudadas através dos limites de Atterberg.

## 5.2 Propriedades Físicas e Mecânicas Pós-Queima

Neste item, são dispostos os resultados das propriedades cerâmicas após a etapa de queima. Como explicado no item 4.3.3, os corpos de prova foram queimados nas temperaturas de 800°C, 850°C, 900°C, 950°C, 1000°C e 1050°C. No decorrer do processo de queima, a massa cerâmica sofre muitas transformações, por causa da liberação de gases e reações, modificando sua estrutura cristalina. Ocorre perda de massa, com o corpo cerâmico passando por variações de volume, e, devido às temperaturas de queima, acontecem modificações no comportamento cerâmico. Dentre estas modificações, estão as variações da porosidade interna e da resistência mecânica, e transformações cristalinas de alguns componentes (BABISK, 2015).

A seguir, são apresentados os resultados destas modificações no comportamento cerâmico.

### 5.2.1 Densidade Aparente

A Figura 5.14 expõe a densidade aparente após a queima dos corpos de prova analisados.

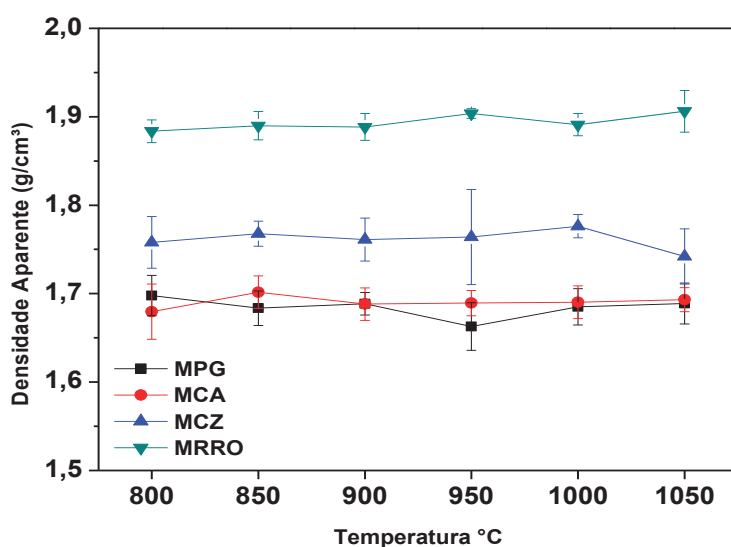


Figura 5.14: Densidade aparente dos corpos de prova após a queima.

Através da Figura 5.14, observa-se que a densidade aparente dos corpos de prova da massa MRRO foi superior a densidade aparente dos demais corpos de prova. Isto significa que a formulação sugerida foi eficiente na melhoria da densificação dos corpos cerâmicos, porque houve uma melhor distribuição granulométrica em comparação às massas MPG, MCA e MCZ. As partículas maiores existentes tanto na areia como no resíduo (RRO) podem ter contribuído na melhoria do empacotamento das partículas. Um empacotamento favorável reduz o grau de porosidade e, conseqüentemente, a retração linear de queima.

### 5.2.2 Absorção de Água

Os valores de absorção de água de cada massa cerâmica proposta, a cada temperatura, estão dispostos na Figura 5.15. O limite máximo admissível de absorção para telhas (20%), segundo a norma NBR 15310/2005, também está expresso na Figura 5.15. Com isso, percebe-se que, para todas as temperaturas trabalhadas, aos corpos de prova da massa MMRO obtiveram melhores resultados, ficando abaixo do valor limite de absorção. No caso da MCZ, quando a temperatura excedeu 950°C, o percentual de absorção diminuiu. E, para as massas MPG e MCA, somente após 1000°C, os corpos de prova atingiram uma sinterização adequada para reduzir o percentual de absorção.

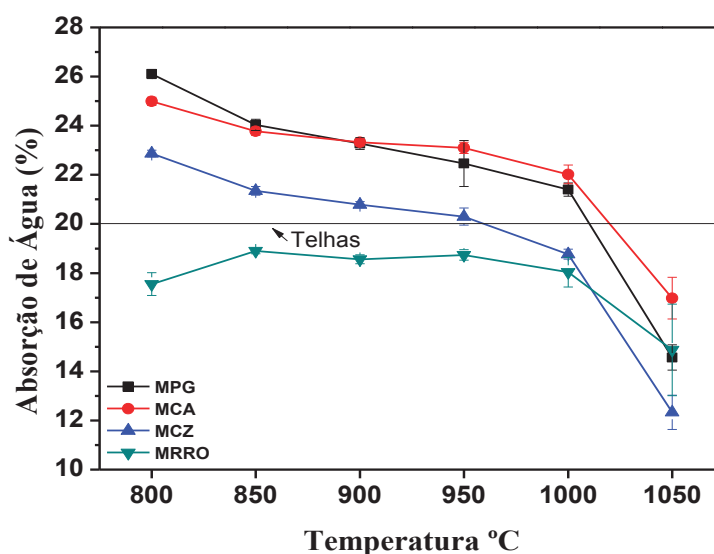


Figura 5.15: Absorção de água dos corpos de prova das massas cerâmicas analisadas.

Os percentuais favoráveis de absorção de água dos corpos de prova da massa MRRO são decorrentes da melhoria na distribuição granulométrica ao misturar o resíduo (RRO) e a areia à argila CZ. Desta forma, tais resultados confirmam os valores de densidade aparente apresentados no tópico anterior (5.2.1). Do mesmo modo, como o comportamento da absorção de água se relaciona diretamente com o nível de porosidade aberta das peças cerâmicas,

pode-se dizer que as massas MPG, MCA e MCZ obtiveram um baixo grau de empacotamento das partículas. Contudo, considerando que o aumento da temperatura de queima influencia na redução da absorção de água ao diminuir a porosidade, as massas em questão alcançaram percentuais aceitos após 950°C, visto que houve maior formação de fase líquida com a intensificação da sinterização.

### 5.2.3 Retração linear

O melhor desempenho da massa MRRO também pode ser observado por meio da Figura 5.16, onde se apresentam os valores percentuais da retração linear de queima dos corpos de prova.

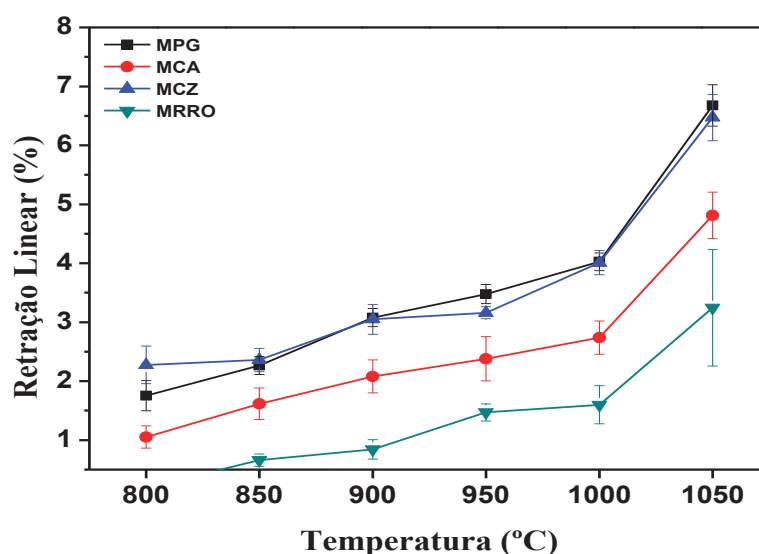


Figura 5.16: Retração linear de queima dos corpos cerâmicos.

A retração linear é um parâmetro importante na definição das dimensões finais do corpo cerâmico e deriva da aproximação das partículas durante o processo de sinterização. Também pode ocorrer pela perda de massa ao fogo. Espera-se que haja pouca variação dos valores de retração linear das peças cerâmicas, acarretando boa qualidade das mesmas.

A partir da Figura 5.16, observa-se que a menor retração linear foi a da massa MRRO, que obedeceu ao limite máximo de 2% para telhas (MAS,

2002), evitando excessivas variações de tamanho e, conseqüentemente, as trincas de queima. Seu comportamento favorável perdurou até 1000°C, apresentando uma boa sinterização, gradativa, preservando as peças. A massa MCA obteve uma retração linear favorável até 900°C, indicando que o mecanismo de sinterização se pronuncia a temperaturas menores. As massas MPG e MCZ apresentam uma retração linear dentro do limite até, aproximadamente, 850°C, não significando um processo de sinterização gradual.

#### **5.2.4 Resistência mecânica**

O ensaio de resistência à flexão por três pontos avalia a propriedade de resistência mecânica das peças cerâmicas. Esta propriedade trata de analisar a capacidade da peça de suportar esforços exercidos por cargas, levando à rupturas, esmagamentos ou quebras. O valor limite de tensão de ruptura para telhas cerâmicas estabelecido por Santos (1989) é de 6,37 MPa (65 kgf/cm<sup>2</sup>), indicado em todos os gráficos da Figura 5.17.

A Figura 5.17 demonstra os valores para a resistência mecânica, dos corpos de prova confeccionados com as massas sugeridas, considerando todas as temperaturas testadas. As peças tiveram sua resistência mecânica acrescida em quase todos os incrementos de temperatura. Este aumento é decorrente da redução da porosidade por meio da eficiência no processo de sinterização.

A 850°C, todas as massas cerâmicas trabalhadas superaram o limite de resistência sugerido por Santos (op.cit.), indicando um comportamento favorável na diminuição dos poros. Este resultado é satisfatório visto que a temperatura de 850°C é o patamar mais utilizado na cerâmica parceira. Na temperatura de 900°C, tanto a massa MCA como a MCZ tiveram decréscimo na resistência mecânica. Essa redução pode ter acontecido por ter gerado trincas que foram identificadas após a queima em algumas peças. É provável que as trincas tenham sido formadas por causa das tensões sofridas pela transformação alotrópica do quartzo. Poderiam também acontecer devido à formação do “coração negro” (mancha escura causada pelo ferro reduzido impedindo a saída dos gases), no interior das peças.

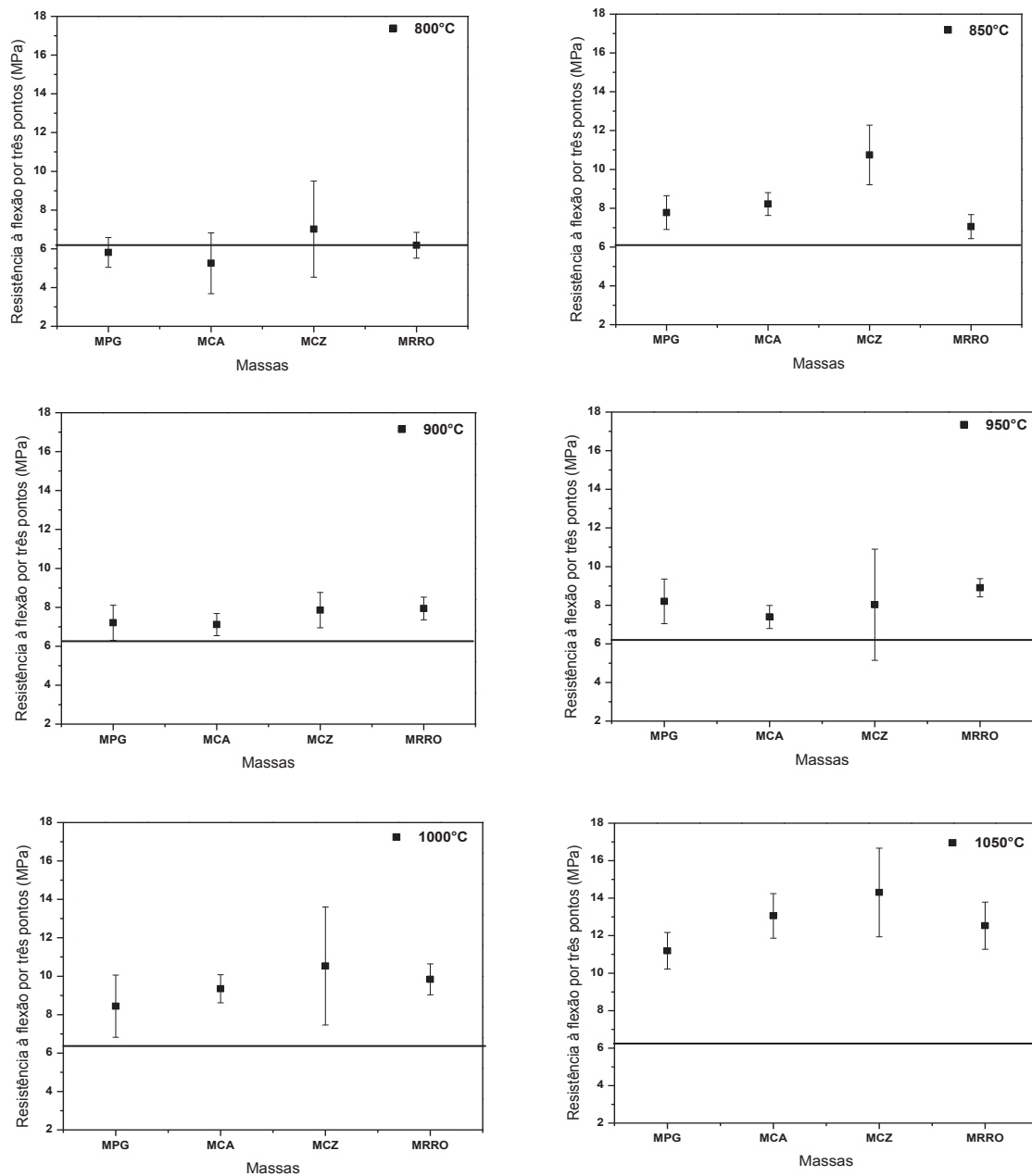


Figura 5.17: Resistência à flexão por três pontos dos corpos cerâmicos.

### 5.3 Análise Microestrutural

#### 5.3.1 Microscopia ótica

A seguir, nas Figuras 5.19 e 5.20, são apresentadas as micrografias óticas dos corpos de prova para todas as massas cerâmicas trabalhadas,



queimadas a 850°C. Esta temperatura corresponde ao patamar de temperatura de queima operada na cerâmica parceira, tendo em vista o forno utilizado e a eficiência na sinterização das demais peças dos outros produtos fabricados.

A Figura 5.18 expõe as superfícies dos corpos de prova de cada massa cerâmica. Após cortados, eles foram lixados a fim de melhorar sua visibilidade. Observa-se que o corpo de prova da massa MPG, apesar de apresentar uma boa resistência física aos 850°C, teve uma rachadura interna. Esse defeito pode ter sido causado pela irregularidade da compactação das partículas já que foi a massa mais plástica, com IP de 30,4%. A variação na umidade do pó e a baixa carga na conformação das peças também podem provocar trincas. Os demais corpos de prova, das massas MCA, MCZ e MRRO, aparentam uma boa sinterização, destacando a massa MRRO pela homogeneidade de coloração interna. Todavia, na massa MCZ, nota-se uma fissura que pode ter sido causada pelo deslocamento de uma partícula no momento do corte.

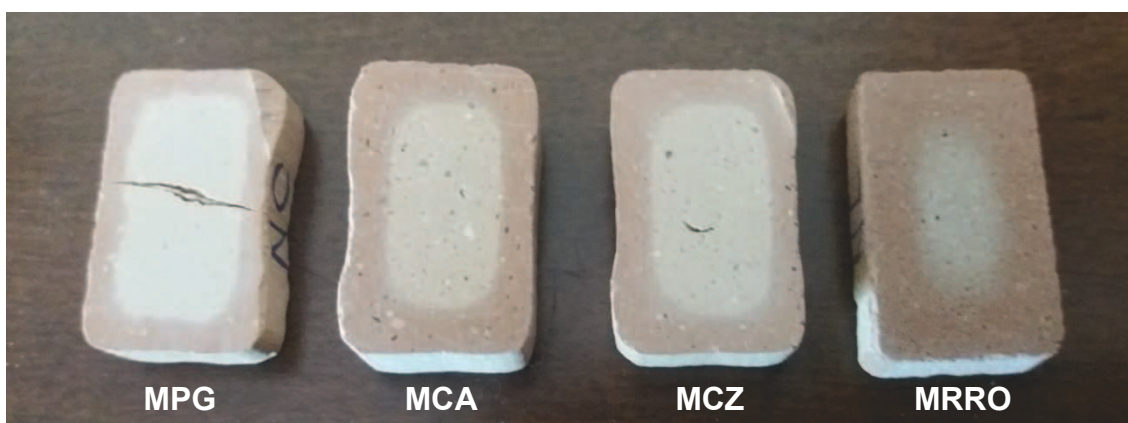


Figura 5.18: Corpos de prova das massas MPG, MCA, MCZ e MRRO, preparados para microscopia ótica.

As Figuras 5.19 e 5.20 demonstram as micrografias óticas das peças queimadas a 850°C. Ressalta-se que as características visuais são similares por se tratarem de massas com a composição química muito parecida, conforme o item 6.1. Um destaque deve ser dado para a coloração clara das 04 peças, tratando-se de massas com baixos teores de ferro. A presença de partículas de quartzo é facilmente notada ao ser apontada pela seta de cor amarela. As partículas mais claras podem ser micas e estão marcadas com a seta vermelha. E, circulado em amarelo, aparenta ser a presença de feldspatos. Apesar do teor de ferro ser baixo, os pontos mais escuros, na

massa MCA, podem ser óxido ferroso. A massa MRRO contém uns pontos escuros que podem ser partículas do resíduo de rochas colocado na mistura.

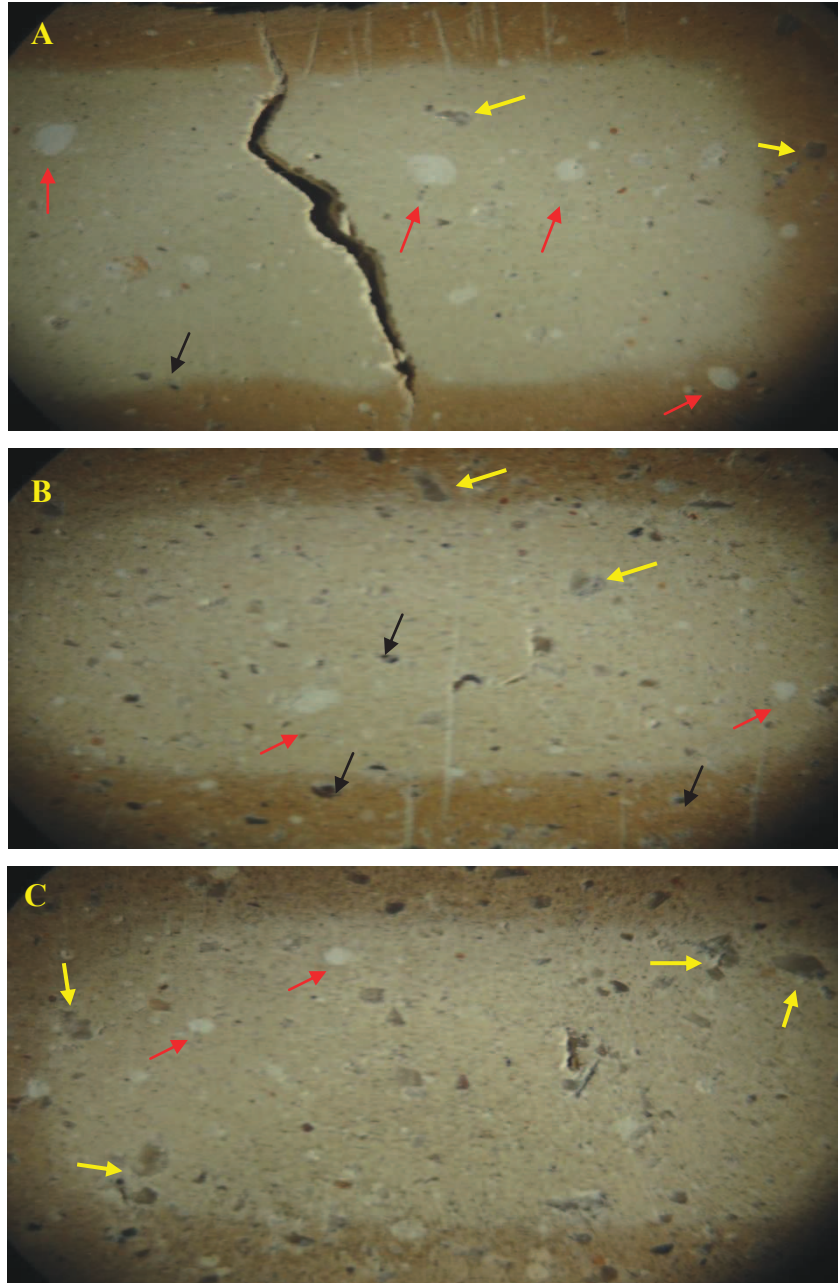


Figura 5.19: Micrografias óticas dos corpos de prova das massas cerâmicas MPG (a), MCA(b) e MCZ (c), queimados a 850°C e com o aumento de 20x.



Figura 5.20: Micrografias óticas do corpo de prova da massa cerâmica MRRO, queimados a 850°C e com o aumento de 20x.

### 5.3.2 Microscopia eletrônica de varredura

As Figuras 5.21, 5.23, 5.25 e 5.27 apresentam as micrografias obtidas pela microscopia eletrônica de varredura da superfície dos corpos de prova para as massas cerâmicas estudadas queimadas na temperatura de 850 °C. Assim como nas micrografias óticas, essa temperatura foi escolhida por ser a temperatura operada na cerâmica parceira.

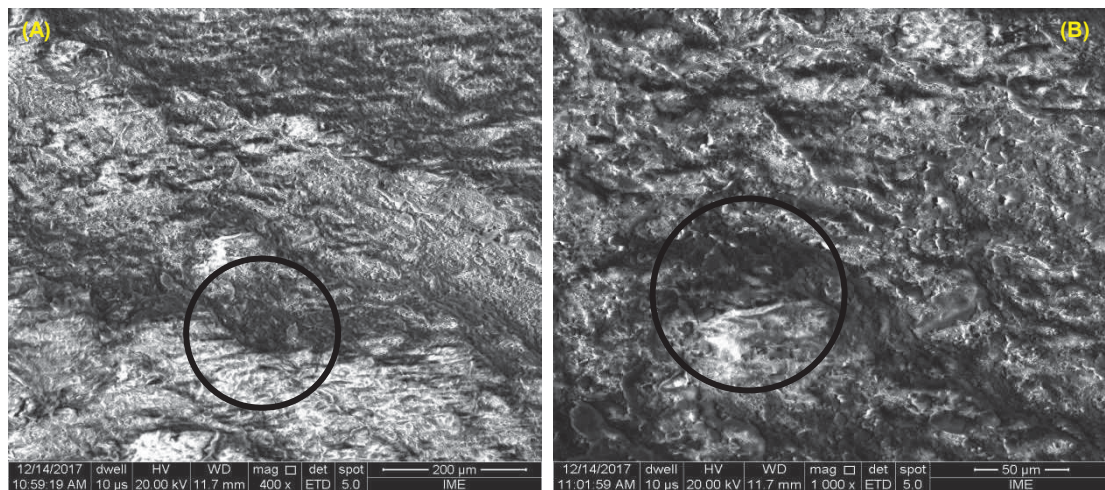


Figura 5.21: Microscopia eletrônica de varredura da massa MPG para a temperatura de 850°C com aumento de 400x (A) e 1000(B).

Observando a Figura 5.21, mostra a superfície da fratura da peça e percebe-se uma região porosa. Este tipo de porosidade poderia ter sido evitado

aumentando a pressão de compactação dos corpos de prova, e diminuindo sua plasticidade.

A Figura 5.22 apresenta a EDS – Espectroscopia de Energia Dispersiva do corpo de prova da massa MPG. Estes resultados foram disponibilizados por meio da caracterização química dos elementos identificados na amostra. Os elementos elencados confirmam a análise química expressa no item 5.1.

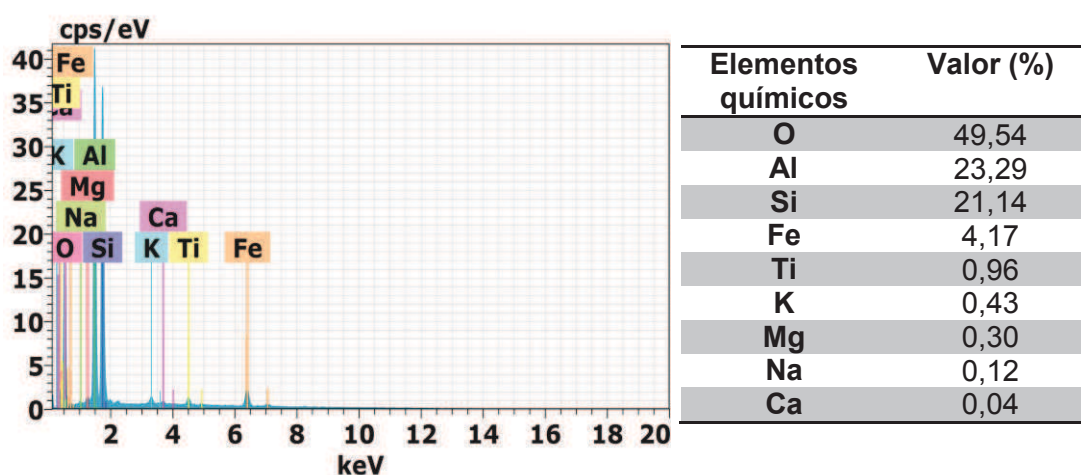


Figura 5.22: EDS dos corpos de prova da massa MPG a 850°C.

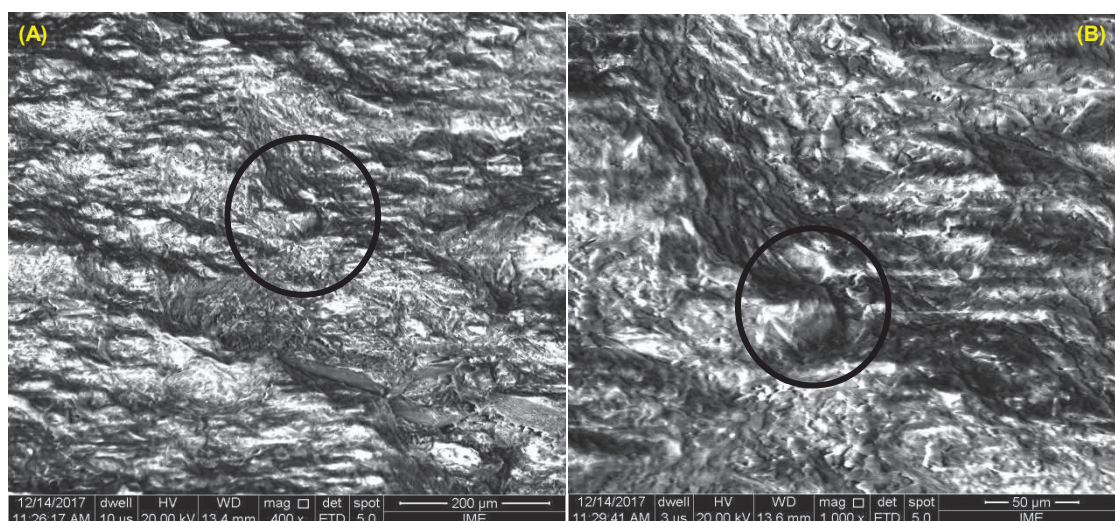


Figura 5.23: Microscopia eletrônica de varredura da massa MCA para a temperatura de 850°C com aumento de 400x (A) e 1000x (B).

Na Figura 5.23, que apresenta a micrografia da massa MCA, nota-se uma maior rugosidade na superfície da fratura, podendo ser causada por

alguma partícula de quartzo que se desprende ao permanecer inerte durante a queima. Uma particularidade deve ser destacada a esta amostra: o alto teor de zircônio no resultado da EDS, na Figura 5.24. Como este elemento não tinha sido identificado na composição química da massa MCA original antes da queima, provavelmente deve ser do revestimento do forno laboratorial. Aponta-se também o níquel que também é um material combinado aos componentes dos revestimentos dos fornos usualmente utilizados.

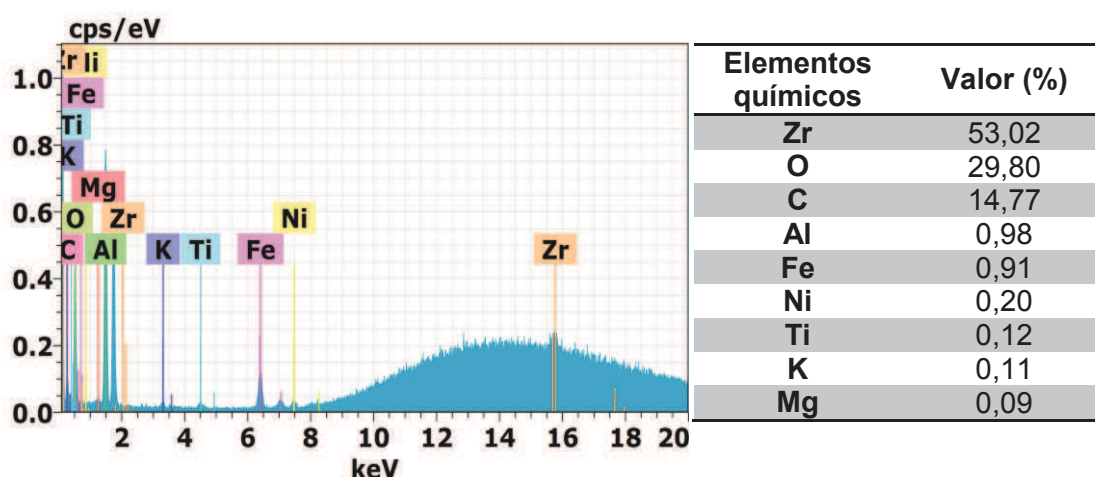


Figura 5.24: EDS dos corpos de prova da massa MCA a 850°C.

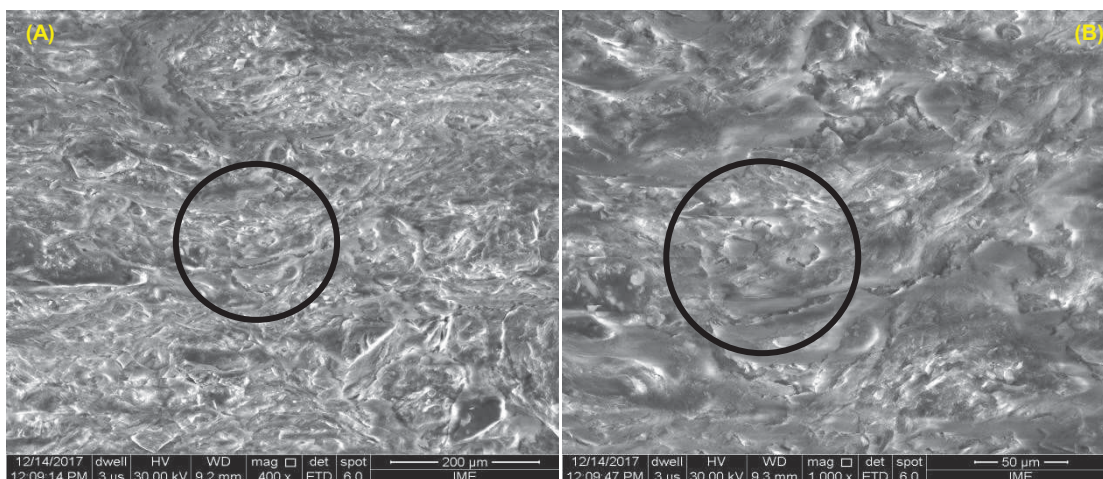


Figura 5.25: Microscopia eletrônica de varredura da massa MCZ para a temperatura de 850°C com aumento de 400x (A) e 1000x (B).

A amostra da massa MCZ, exposta na Figura 5.25, aparenta uma boa compactação em vista das duas outras, indicando uma melhor sinterização e menos rugosidade na superfície.

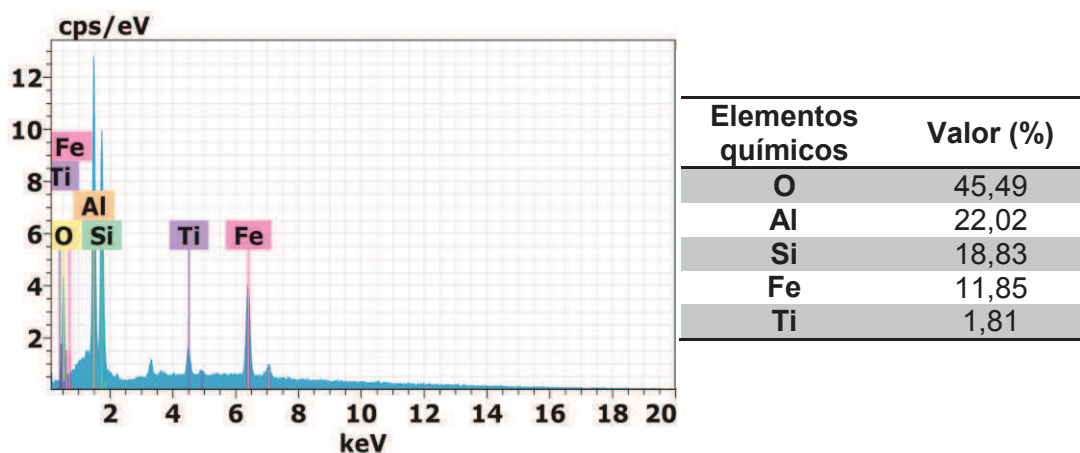


Figura 5.26: EDS dos corpos de prova da massa MCZ a 850°C.

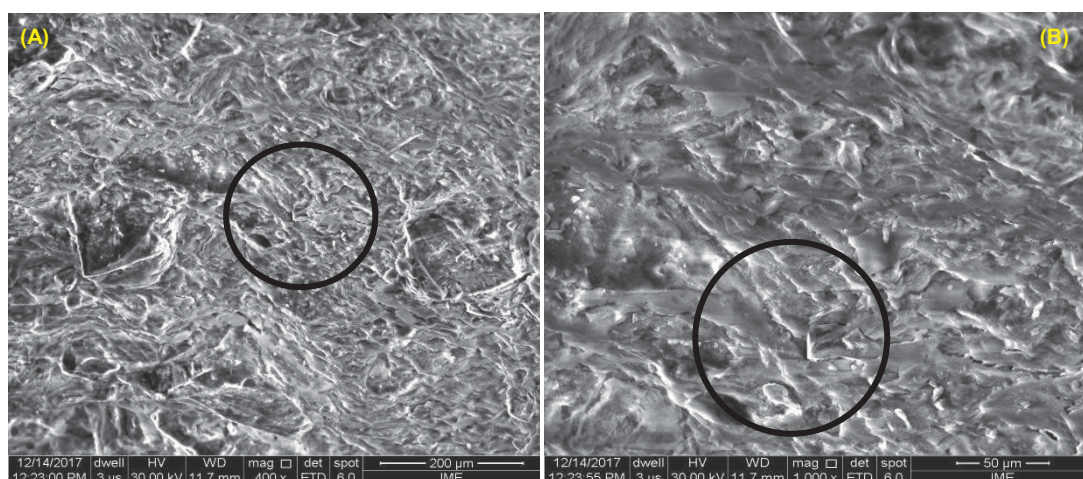


Figura 5.27: Microscopia eletrônica de varredura da massa MRRO para a temperatura de 850°C com aumento de 400x (A), 1000x (B).

A massa incluindo o resíduo de rocha ornamental e areia à argila cinza proporcionou um refinamento na microestrutura em comparação com as demais massas. É possível observar regiões mais densificadas, apresentando uma superfície com textura mais fina.

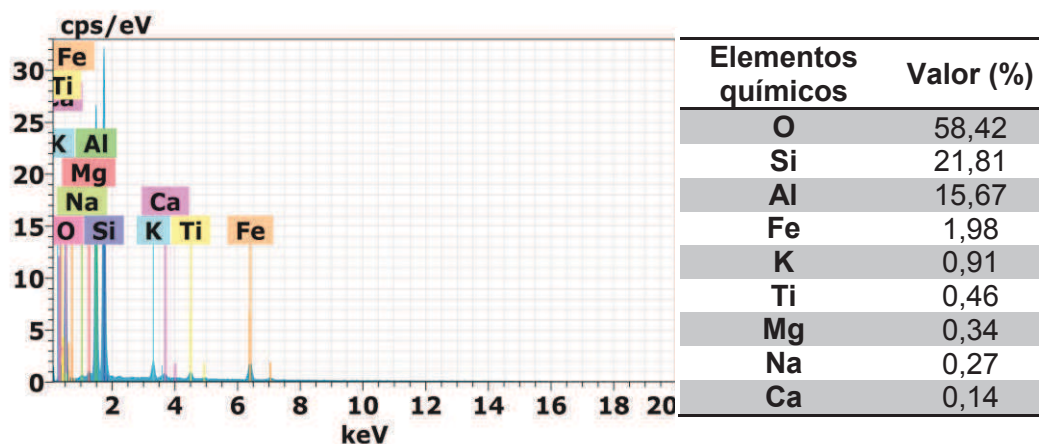


Figura 5.28: EDS dos corpos de prova da massa MRRO a 850°C.

#### 5.4 Teste Industrial

Ressalta-se que o teste industrial foi realizado utilizando a massa RRO, composta conforme a proporção sugerida pelo uso do Diagrama de Winkler, combinando 65% de argila cinza, 20% de areia e 15% de resíduo de rochas ornamentais. A escolha desta massa deu-se por ser uma massa já empiricamente misturada na cerâmica parceira e utilizada na confecção dos demais produtos oferecidos pela empresa. Além disso, depois das porcentagens ajustadas por meio do uso do Diagrama de Winkler, foi a massa que obteve melhor desempenho nas propriedades analisadas e descritas neste Capítulo.

Em termos de medidas da mistura utilizada na cerâmica para o teste industrial, foram 09 conchas de argila cinza, cerca de 10.400kg; 03 conchas de areia, 3.300kg aproximadamente; e 02 conchas de resíduo de rochas ornamentais, por volta de 2.300kg. Com isso, a caçamba do caminhão conteve cerca de 16.000kg do material misturado, o qual foi utilizado para a confecção de 437 telhas portuguesas. Dentre as telhas fabricadas, 30 foram medidas e acompanhadas até o final do processo de queima.

Visto que a proposta deste trabalho é levantar a viabilidade econômico-financeira da produção de telhas cerâmicas na indústria parceira descrita no item 4.1, destaco que o restante do material misturado foi direcionado para a

produção de tijolos de canto e tijolos maciços. Estes produtos já são oferecidos ao mercado e, desta forma, haveria um compartilhamento de insumos operacionais. Portanto, a telha extrudada de coloração clara se adaptaria à realidade produtiva da indústria em questão, sendo inserida na carteira de produtos.

Os valores de retração linear de secagem, retração linear de queima, absorção de água e carga de ruptura à flexão das telhas cerâmicas fabricadas, estão relacionados na Tabela 5.6. Há de se considerar um valor médio para o total de 30 telhas. Mesmo não sendo um parâmetro normalizado, na prática industrial, segundo Vieira (2012), recomenda-se uma retração linear de secagem em torno de 5%. Da mesma forma, a retração linear de queima sugerida é de aproximadamente até 2%. Observando-se a Tabela 5.6, percebe-se que os resultados obtidos no teste industrial correspondem às faixas recomendadas. Quanto à absorção de água, o valor resultante atende à norma estipulada de 20%, limite máximo. Assim como no caso da carga de ruptura à flexão, ficando acima de 1300N (ABNT NBR 15310).

Tabela 5.6 Propriedades físicas e mecânicas das telhas extrudadas.

Propriedades	Valores
<b>Retração linear secagem (%)</b>	3,03 ± 0,32
<b>Retração linear de queima (%)</b>	1,23 ± 0,35
<b>Absorção de água (%)</b>	16,81 ± 0,28
<b>Carga de ruptura (N)</b>	1450,67 ± 31,36

Os valores acima descritos na Tabela 5.6 caracterizam a massa MRRO como eficiente na fabricação de telhas cerâmicas extrudadas de coloração clara. A mistura com resíduo de rocha ornamental e areia contribuiu para a melhoria de propriedades físicas e mecânicas das peças fabricadas.



## 5.5 Uso de Simulação de Eventos Discretos

O software Arena 14.7 foi utilizado como ferramenta a fim de obter o desempenho do processo cerâmico, a partir do teste industrial de fabricação de telhas extrudadas. O objetivo foi de empregá-lo como ferramenta de apoio para a indústria parceira utilizá-lo nas suas rotinas de processamento, ajudando a gerenciar o processo.

O teste industrial foi filmado e cronometrado a fim de levantar os dados iniciais da produção de telhas. Os dados colhidos foram utilizados para preencher a Tabela 5.7, que trata dos dados cadastrais da operação a ser simulada. Como os valores utilizados retratam um teste piloto, são valores somente representativos para se projetar novas atividades dentro dos processos cerâmicos.

Diante do constatado ao acompanhar o teste industrial, alimentando o sistema proposto no item 3.3.5, as variáveis de saída são as que se seguem na Tabela 5.7.

Tabela 5.7: Variáveis de entrada e saída do processo do teste industrial realizado no dia 30/08/2017.

<b>Variáveis de Entrada</b>	1. Início da produção	13:40h
	2. Término da produção	14:17h
	2. Tempo da extrusora	5s/peça
	3. Tempo de corte	2s/peça
	4. Tempo de retirada da peça da esteira	3,4s/peça
	5. Quantidade de peças produzidas por minuto	11,81peças/min
	6. Quantidade de paradas para manutenção	6
	7. Número de funcionários que intervém no processo	5
	8. Número de peças que sofreram retrabalho	9
9. Número de peças defeituosas	1	
<b>Variáveis de Saída</b>	1. Quantidade de peças produzidas ao final da produção	<b>437 telhas</b>
	2. Taxa de utilização da extrusora	<b>98,42%</b>
	3. Taxa de utilização do corte	<b>39,40%</b>
	4. Taxa de utilização dos funcionários	<b>58,82%</b>

Fonte: Adaptada de Aragão (2010).

Ao analisar os resultados da Tabela 5.7, percebe-se que o sistema produtivo proposto é eficiente, havendo uma utilização quase total do equipamento de extrusão no processo programado. Todavia, como a atividade

de corte é automatizada e depende da retirada das peças da esteira por funcionários, esta operação foi subutilizada podendo alcançar melhores resultados caso haja um treinamento mais eficaz dos funcionários envolvidos. Da mesma forma, os funcionários designados para esta atividade podem adquirir mais agilidade ao praticar rotineiramente as operações para a fabricação de telhas. Houve uma demora na retirada das peças da esteira e arrumação das mesmas nos pallets. Em várias ocasiões, os pallets ainda não estavam disponíveis para a colocação da telha recém fabricada.

Desta forma, o uso do software Arena 14.7 no teste industrial serviu para reconhecer as atividades operacionais pertencentes ao processo de fabricação de telhas extrudadas. Assim, é possível projetar novas performances de fabricação de telhas, incluindo o processamento de outros produtos como o tijolo maciço, por exemplo. Com isso, novos testes devem ser realizados para traçar metas com melhores tempos e aproveitamento na produção.

## 5.6 Análise da Viabilidade Econômico-Financeira

### 5.6.1 Fluxo de caixa

O fluxo de caixa montado a partir dos valores passados pela cerâmica parceira para servir com base para o cálculo do VPL (Valor Presente Líquido).

ano	receitas totais	receitas com produtos	receitas com serviços	impostos com produtos	impostos com serviços	impostos totais	receita líquida produto	receita líquida serviço	receita líquida	custos e despesas totais	custos e despesas fixas com produtos	va
1												
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	206.886	206.886	0	51.370	0	51.370	155.516	0	155.516	188.878	131.008	
4	294.725	245.604	49.121	60.983	0	60.983	184.621	49.121	233.741	188.878	131.008	
5	302.400	252.000	50.400	62.572	0	62.572	189.428	50.400	239.828	188.878	131.008	
6	302.400	252.000	50.400	62.572	0	62.572	189.428	50.400	239.828	188.878	131.008	
7	277.200	231.000	46.200	57.357	0	57.357	173.643	46.200	219.843	188.878	131.008	
8	117.360	97.800	19.560	24.284	0	24.284	73.516	19.560	93.076	#VALORI	#VALORI	

Figura 5.29: Fluxo de caixa para o investimento na produção de telhas cerâmicas extrudadas com coloração clara.

ano	custos e despesas variáveis com serviços	resultado bruto com produtos	resultado bruto com serviços	resultado bruto	impostos sobre resultados	resultado líquido	investimentos	fluxo de caixa livre	fluxo de caixa acumulado
1	0	-	0	-	0	-	7.000	(7.000)	(7.000)
2	57.870	24.508	-57.870	(33.362)	0	(33.362)	0	(33.362)	(40.362)
3	57.870	53.613	-8.749	44.864	5.025	39.839	0	39.839	(523)
4	57.870	58.421	-7.470	50.951	5.706	45.244	0	45.244	44.721
5	57.870	58.421	-7.470	50.951	5.706	45.244	0	45.244	89.966
6	57.870	42.635	-11.670	30.965	3.468	27.497	0	27.497	117.463
7	28.935	#VALOR!	-9.375	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	0	#VALOR!	#VALOR!

Figura 5.30: Fluxo de caixa para o investimento na produção de telhas cerâmicas extrudadas com coloração clara (continuação).

Nas planilhas apresentadas nas Figuras 5.29 e 5.30, observam-se os valores projetados, para os 07 próximos anos de investimentos, de receitas, impostos, custos e despesas. Apurando-se, assim, os fluxos de caixa livre e acumulado. É certo que tantos outros dados devem ser acrescentados à planilha para que retrate melhor a realidade da empresa parceira. Contudo, não houve acesso a todos os dados necessários, mesmo porque a própria empresa está, aos poucos, se organizando para identificá-los, devido à ausência de um controle efetivo.

Todavia, esta carência não desmerece os resultados obtidos pois os mesmos seriam favoráveis pela não necessidade de investimentos em maquinários ou novos processos de produção.

### 5.6.2 Valor Presente Líquido (VPL)

O VPL é disponibilizado pela própria planilha preenchida, facilitando o dia a dia da empresa parceira. E, buscando um refinamento na avaliação financeira, a planilha também oferece o cálculo dos demais indicadores a título de comparação e análise. Dentre os quais, a Taxa Interna de Retorno (TIR); o Payback; o Retorno sobre o Investimento (ROI); Índice de Lucratividade (IL); Time-to-market; Ponto de Equilíbrio; e, o Fator de Retorno. Estes indicadores financeiros fazem parte da revisão bibliográfica deste trabalho. Os índices aqui elencados são demonstrados, ressaltando taxa de desconto (TMA) de 20%, conforme recomendado em Rodrigues (2014), na Figura 5.31.

	Valor Presente Líquido (VPL) base de cálculo anual	Taxa Interna de Retorno (TIR) anual	Payback (PB) em meses	Payback (PB) em anos	Retorno sobre Investimentos (ROI) anual	Índice de lucratividade	Time-to-market em meses	Ponto de equilíbrio ou Break Even Time (BET) em meses	Ponto de equilíbrio após a liberação da produção ou	Fator de Retorno (1 ano depois do lançamento)
3										
4	43.264,23	81%	53	4,4	14,44%	225,73	12	58	46	47%

Figura 5.31: Valores obtidos para o VPL projetado, e para os demais indicadores financeiros.

A Figura 5.32 apresenta o mapa de retorno que representa o sucesso do produto em termos de tempo e dinheiro. O mapa de retorno relaciona a lucratividade com o prazo de retorno, considerando os indicadores fornecidos pela planilha.

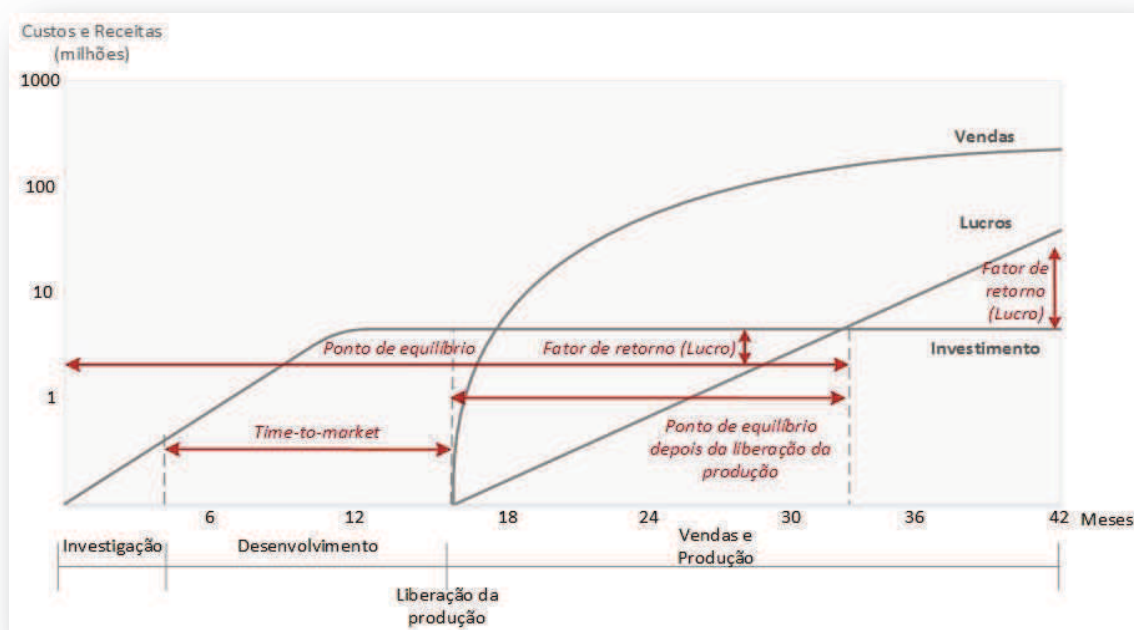


Figura 5.32: Mapa de retorno do investimento.

### 5.6.3 Teoria das Opções Reais (TOR)

A fim de repensar estrategicamente o investimento na produção de telhas cerâmicas extrudadas, foram sugeridas duas opções reais de

investimento, buscando diversificar e ampliar a performance produtiva da empresa. A primeira opção real (1) propõe aproveitar a massa cerâmica composta para produzir o tijolo maciço branco (TMB), sequencialmente à produção de telhas. Rapidamente, seria possível trocar a boquilha e o cortador usufruindo da disponibilidade do ritmo de trabalho dos operários envolvidos no processo, visto que o TMB é o produto de maior percentual de vendas atualmente. Como segunda opção real (2), a busca de introduzir simultaneamente outro modelo de telha ao adquirir uma nova boquilha. Poderia ser a telha americana, por exemplo, pois já está consolidada no mercado.

Com explicado na metodologia deste trabalho, no item 3.3.6.4, para a opção (1), foi necessário mais uma caçamba com as matérias-primas misturadas, que custou cerca de R\$1.000,00, assim como a empregada na produção de telhas. Quanto à opção (2), uma nova boquilha foi adquirida no valor R\$3.500,00, e, tal qual a opção (1), mais uma caçamba de material foi utilizada no valor de R\$1.000,00.

O VPL considerando cada opção foi calculado, conforme demonstrado nas Figuras 5.33 e 5.34, sendo de R\$42.430,90 para a 1ª opção; e, de R\$39.514,23 para a 2ª opção. Da mesma forma, para a primeira opção, admitiu-se que tinha cerca de 80% de ocorrência por se tratar de uma prática já conhecida. Enquanto que a segunda opção foi acolhida com 20% de ocorrência, entendendo que a telha por si só já é um produto diversificado.

	Valor Presente Líquido (VPL) base de cálculo anual	Taxa Interna de Retorno (TIR) anual	Payback (PB) em meses	Payback (PB) em anos	Retorno sobre Investimentos (ROI) anual	Índice de lucratividade	Time-to-market em meses	Ponto de equilíbrio ou Break Even Time (BET) em meses	Ponto de equilíbrio após a liberação da produção ou (1 ano depois do lançamento)	Fator de Retorno (1 ano depois do lançamento)
3										
4	42.430,90	78%	53	4,4	14,32%	77,48	12	58	46	47%

Figura 5.33: VPL e demais indicadores calculados para a 1ª opção real de investimento.

	Valor Presente Líquido (VPL) base de cálculo anual	Taxa Interna de Retorno (TIR) anual	Payback (PB) em meses	Payback (PB) em anos	Retorno sobre Investimentos (ROI) anual	Índice de lucratividade	Time-to-market em meses	Ponto de equilíbrio ou Break Even Time (BET) em meses	Ponto de equilíbrio após a liberação da produção ou	Fator de Retorno (1 ano depois do lançamento)
3										
4	39.514,23	68%	53	4,4	13,90%	23,49	12	58	46	47%

Figura 5.34: VPL e demais indicadores calculados para a 2ª opção real de investimento.

O valor combinado das duas opções reais corresponde a soma de seus valores esperados. Portanto:

$$\text{Valor das Opções Reais} = (0,80 \times 42.430,90) + (0,20 \times 39.514,23) = 41.847,57$$

Com isso, aplicando a Fórmula 16 a seguir, é possível encontrar o  $VPL_{\text{estratégico}}$ .

$$\text{Valor da Opção Real} = VPL_{\text{expandido}} - VPL_{\text{tradicional}} \quad (16)$$

Ou seja,

$$VPL_{\text{expandido}} = VPL_{\text{tradicional}} + \text{Valor das Opções Reais}$$

Assim, o  $VPL_{\text{estratégico}}$  corresponderá a R\$85.111,80. Deste modo, demonstra-se que vale a pena financeiramente não só investir na produção de telhas cerâmicas extrudadas de coloração clara, como também ampliar e diversificar a produção. Aproveitando para produzir, simultaneamente, os tijolos maciços, assim como novos modelos de telhas.

Nota-se, portanto, a importância de avaliar financeiramente as atividades produtivas da empresa frequentemente. Buscando, desta maneira, identificar possíveis opções reais estratégicas para aumentar a lucratividade.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

De acordo com os resultados experimentais e discussão, as seguintes conclusões podem ser destacadas:

Da caracterização das três argilas, apresentaram composições similares, tipicamente cauliníticas, bem característico da região de Campos dos Goytacazes. São constituídas, sobretudo, por caulinita, quartzo, mica e montmorilonita. Observa-se que a argila PG, comparativamente com as demais, apresenta menor relação  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ , maior perda ao fogo e menores teores de óxidos fundentes. A argila CA apresenta granulometria um pouco mais grosseira, muito parecida com a argila CZ, enquanto a argila PG apresenta maior concentração de grãos na fração “argila”, ao qual está associada à presença de argilominerais. As três argilas apresentam elevada perda ao fogo.

O resíduo de rocha ornamental se destaca pelo alto teor de quartzo e baixa perda ao fogo. Assim como a areia, como já era esperado. E quando misturados à argila CZ, contribuíram satisfatoriamente na redução de sua plasticidade, haja vista a grande quantidade de partículas grosseiras do RRO. Na massa RRO, houve predominância dos óxidos  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , evidenciando presença da caulinita. E os baixos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$  confirmam sua indicação para a fabricação de telhas claras. Obteve também uma redução da perda ao fogo.

Pela distribuição do tamanho de partículas, posicionando as matérias-primas no Diagrama de Winkler, nenhuma das três argilas se situou em regiões favoráveis para a fabricação de produtos cerâmicos. Por isso, a opção de formular a massa cerâmica com resíduo de rocha e areia, utilizando a argila cinza, foi bem sucedida. A composição granulométrica da massa MRRO favoreceu o posicionamento adequado na região para produção de telhas, apresentando um percentual de silte e areia proporcionalmente similares ao de argila.

Quanto aos valores de plasticidade encontrados, os resultados confirmaram o excesso de plasticidade das massas cerâmicas sem resíduo (MPG, MCA, MCZ). Para o processo de extrusão, o índice de plasticidade deve



estar entre 10% e 30% e, as massas sem resíduo obtiveram valores de IP próximos ao limite máximo. Sendo que o IP da massa MPG ultrapassou o limite de 30%. Contudo, a massa MRRO, com IP 16,6%, ao ter seus resultados dos limites de Atterberg plotados no prognóstico de extrusão, foi localizada na região de extrusão ótima, comprovando sua potencialidade da fabricação de telhas extrudadas. Outra massa bem próxima da região aceitável foi a massa MCA.

Quanto à densidade aparente dos corpos de prova, a massa MRRO, mais uma vez, se manteve à frente das demais massas. A formulação sugerida foi eficiente na densificação dos corpos cerâmicos por sua proveitosa distribuição granulométrica, em relação às demais massas. Bom grau de empacotamento das partículas, reduzindo o grau de porosidade e, conseqüentemente, retração linear de queima.

Os percentuais favoráveis da massa MRRO foram expressos também no ensaio de absorção de água – obedecendo ao limite máximo de 20% (NBR 15310/2005) – e de retração linear – atendendo ao limite de 2% para telhas. As massas MPG, MCA e MCZ obtiveram um baixo grau de empacotamento das partículas, com alto percentual de absorção de água e retração linear.

Os corpos de prova confeccionados com as massas trabalhadas tiveram sua resistência mecânica acrescida em todos os incrementos de temperatura, sugerindo uma redução de porosidade por meio da sinterização.

Utilizando a massa MRRO no teste industrial, pode-se concluir que um dos objetivos da tese foi cumprido visto que as telhas cerâmicas extrudadas de coloração clara atendem à norma técnica vigente. O resíduo de rocha ornamental se mostra como alternativa viável na redução da plasticidade da massa, sem onerar os insumos de produção. As propriedades físicas e mecânicas alcançadas pela telha extrudada são proveitosas, podendo originar produtos de considerável qualidade e atratividade mercadológica.

O uso do software Arena 14.7 correspondeu à proposta de avaliar a eficiência do processo produtivo da telha cerâmica extrudada, sendo de fácil manuseio para pequenas e médias empresas. Mostra-se como uma ferramenta viável para controlar e conhecer melhor as rotinas de produção cerâmica, existindo versões gratuitas que podem ser experimentadas conforme as variáveis características da empresa a serem analisadas.

A viabilidade econômico-financeira da produção de telhas cerâmicas extrudadas de coloração clara foi experimentalmente aprovada, apesar de serem necessários mais dados para refinar a avaliação. Todavia, a Teoria das Opções Reais condiz com a possibilidade de projetar o retorno financeiro das opções de investimento, atualizando as estratégias de mercado que se mostrarem mais interessantes. E, ao utilizar a planilha de fluxo de caixa, esta atualização tornou-se mais simples sendo de fácil acesso e compreensão para os gestores de pequenas e médias empresas. Além de considerar os demais indicadores financeiros para fundamentar a avaliação de viabilidade.

Por fim, os resultados das propriedades físicas e mecânicas da telha extrudada de coloração clara, a performance eficiente do processo produtivo ao utilizar a extrusora e a máquina de corte automático e a viabilidade econômico-financeira da produção de telhas na região de Campos dos Goytacazes/RJ indicam o impacto positivo na competitividade mercadológica da cerâmica parceira.

### **6.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Como a intenção desta pesquisa não é de esgotar as possibilidades de diversificação de produtos cerâmicos, ressalta-se que há várias sugestões para novos trabalhos que ainda não foram atendidas por este. Por exemplo, a possibilidade de formular novas massas com as argilas PG e CA, utilizando o resíduo RRO, visto que as mesmas possuem características mineralógicas similares as da argila CZ.

Da mesma forma, utilizar as demais argilas da região, minimizando custos com transporte, para variar a coloração das peças, ampliando a tonalidade final das telhas e demais produtos cerâmicos.

Ampliar a produção de telhas cerâmicas extrudadas em concomitância com os outros produtos oferecidos pela cerâmica parceira, podendo programar a produção conforme o comportamento sazonal das vendas.

Após uma pesquisa de mercado em novas regiões, utilizar a telha cerâmica extrudada de coloração clara como insumo para telhas esmaltadas, diversificando a oferta ao mercado.

Fazer um estudo ambiental levantando os possíveis impactos do uso do resíduo RRO com matéria-prima na cerâmica vermelha. Da mesma forma, fazer parcerias com outros fornecedores do resíduo RRO já que regiões próximas a Campos dos Goytacazes/RJ se caracterizam pela extração e produção de granito.

Otimizar o uso do software Arena 14.7, simulando a atividade produtiva com dados reais para a fabricação de lotes de telhas, assim como dos produtos mais vendidos na cerâmica parceira, o tijolo maciço e o tijolo de canto.

Projetar a viabilidade econômico-financeira para um horizonte de tempo maior, considerando a produção de todos os itens da carteira de produtos da cerâmica. Desta forma, haveria a possibilidade de elaborar um plano estratégico que contemplasse novos mercados.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCERAM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Dados Oficiais**. Disponível em: <http://www.abceram.org.br>. Acesso em: 30 set. 2017.

AMARAL, L. F. **Formulação de massa cerâmica para produção de telhas**. 2016. 77 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense – Darcy Ribeiro – Campos dos Goytacazes.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products**, C 373-72, USA, 1972.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **Flexural Properties of Ceramic Whiteware Materials**, C 674-77, USA, 1977.

ANFACER – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES. **Dados Oficiais**. Disponível em: <http://www.anfacer.com.br>. Acesso em: 20 set. 2015.

ANICER – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA. **Dados Oficiais**. Disponível em: <http://www.anicer.com.br>. Acesso em: 20 fev. 2018.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO: **Setor de transformação de não metálicos**. Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Brasília: 2016. 99 p.

ARAGÃO, A. P. **Modelagem e simulação computacional e processos produtivos: o caso da cerâmica vermelha de Campos dos Goytacazes, RJ**. 2011. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.

ASSAF NETO, A. **Finanças Corporativas e Valor**. 6. Ed. São Paulo: Atlas, 2012.

ASSAF NETO, A. LIMA, F. G. Curso de Administração Financeira. 3. Ed. São Paulo: Atlas, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (2005). **Componentes Cerâmicos – Telhas – Terminologia, Requisitos e Métodos de Ensaio**, NBR 15.310, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (1984). **Solo - Determinação do limite de liquidez**, NBR 6459, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (1984). **SOLO - Determinação do Limite de plasticidade**, NBR 7180, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (1984). **Determinação da Análise Granulométrica dos solos**, NBR – 7181-84, 1984.

BABISK, M. P. **Incorporação de lama vermelha em cerâmica vermelha**. 2015. 196 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciências dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense – Darcy Ribeiro – Campos dos Goytacazes.

BALARINE, O. F. O. Desvendando o cálculo da TIR. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 38, n. 1, p. 15-24, jan-fev-mar, 2003.

BATEMAN, R.; BOWDEN, R.; GOGG, T.; HARREL, C.; MOTT, J.; MONTEVECHI, J. A. B. **Sistemas de simulação: aprimorando processos de logística, serviços e manufatura**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

BAPTISTA, R. C. T.; RANGEL, J. J. A. Simulação a eventos discretos de uma via semaforizada com controle automatizado em tempo real. **Revista Produção Online**, Florianópolis, SC, v.13, n. 1, p. 290-317, jan./mar. 2013.

BREALEY, R. A.; MYERS, S. C.; ALLEN, F. **Princípios de Finanças Corporativas**. 10. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

BRIGHAM, E. F.; EHRHARDT, M. C. **Administração Financeira – teoria e prática**. ISBN 9788522110995, São Paulo: Editora Cengage Learning, 2011.

BRUNI, A. L. **Avaliação de investimentos**. ISBN 978-85-224-5112-8, São Paulo: Editora Atlas, 2008.

CAMARGO JUNIOR, A. S.; YU, A. S. O.; NASCIMENTO, P. T. S. Opções reais e flexibilidade no processo decisório: um caso de ensino em desenvolvimento de novos produtos e processos. **International Meeting of the Iberoamerican Academy of Management, Buenos Aires**, v. 6, p. 1-39, 2009.

CASAROTTO, N. F. e KOPITKE, B. H., **Análise de Investimento: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial**. 10. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2007.

CHRISPIM, Z. M. P.; ALMEIDA, L. L. P.; ALVES, M. G.; RAMOS, I. S.; SILVA, A. L. C. Caracterização de solos residuais da região de Campos dos Goytacazes/ RJ para uso de engobes em cerâmica artística. **Anais 54º Congresso Brasileiro de Cerâmica**. Foz do Iguaçu, PR, 2010.

CONSERVA, L. R. S.; NASTRI, S.; LEITE, A. P.; MELCHIADES, F. G.; BOSCHI, A. O. Íons Cromóforos e a Cor de Queima de Porcelanatos Esmaltados. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 19, n. 3, p. 13-16, 2014.

COPELAND, T.; ANTIKAROV, V. **Opções Reais**. São Paulo: Campus, 2001.

CORREA, J. E.; MELLO, C. H. P.; PEREIRA, T. F. Uso de simulação de eventos discretos para avaliação de uma linha de montagem de uma empresa do ramo automotivo e os impactos do fator humano. **E-Locução Revista Científica da FAEX**, edição 06, ano 3, 2014.

CUSTÓDIO, A.; CUSTÓDIO, M.; COREGGIO, R. P.; CARGNIN, M. Estudo da compactação de massas para cerâmica vermelha. **Revista Técnico Científica (IFSC)**, v. 3, n. 1, 2012.

DALPASQUALE, M.; LOPES, M. C.; ANAISSI, F. J. Análise Térmica Aplicada na Determinação da Energia de Ativação. Um Experimento para o Laboratório Didático de Físicoquímica. **Orbital The Electronic Journal of Chemistry**, v. 5, October-December 2013. Disponível em [http://www.orbital.ufms.br/index.php/Chemistry/](http://www.orbital.ufms.br/index.php/Chemistry/article/viewFile/501/pdf) article/viewFile/501/pdf.

DEVANT, M.; CUSIDÓ, J. A.; SORIANO, C. Custom formulation o red ceramics with clay, sewage sludge and forest waste. **Applied Clay Science**, v. 53, 669-675, 2011. Disponível em [www.elsevier.com/locate/clay](http://www.elsevier.com/locate/clay).

DINSMORE, P. C. **Como se tornar um profissional em gerenciamento de projetos: livro-base de “preparação para certificação PMP”**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2007.

DONDI, M., Caracterização Tecnológica dos Materiais Argilosos: Métodos Experimentais e Interpretação dos Dados, *Revista Cerâmica Industrial*, p. 36-40, 2006.

DONDI, M.; GUARINI, G.; RAIMONDO, M.; ZANELLI, C. Recycling PC and TV waste glass in clay bricks and roof tiles. **Waste Management**, v. 29, 1945-1941, 2009. Disponível em [www.elsevier.com/locate/wasman](http://www.elsevier.com/locate/wasman).

FARIA, L. F. V. **Análise de projeto de investimento e tomada de decisão com utilização da teoria de opções reais na indústria do petróleo: um modelo de opção de abandono**. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2015.

GALLON, A. V.; SILVA, T. P. HEIN, N.; OLINQUEVITCH, J. L. Utilização da Análise de Investimento nas Empresas de Tecnologia do Vale do Itajaí/SC.

**Anais do XXIV Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica**, Gramado, RS, 2006.

GAUDARD, R. M.; BRANCO, I. G. C.; ALMEIDA, F. G.; RODRIGUES, B. G.; CALDEIRA, K. O. A análise de viabilidade econômica de um projeto de e-commerce do tipo consumer-to-consumer (C2C) com ênfase na análise de riscos. **Anais do XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Bento Gonçalves, RS, Brasil, 2012.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira**. 12 ed. São Paulo: Editora Pearson, 2010.

GOES, J. R.; AZEVEDO, T. F.; DUTRA, T. X. C.; SANTOS, V. B.; SEVERO JUNIOR, J. B. Avaliação da potencialidade de argilas da formação geológica Calumbi e Riachuelo em Sergipe para aplicação em revestimento cerâmico. **Cerâmica** v. 60, 211-217, 2014.

GROPPELLI, A. A.; NIKBAKHT, E. **Administração financeira**. 3 ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

GUEDES, J. V. **Modelos de avaliação de investimento em TI de uma empresa do setor financeiro: estudo de caso de um banco comercial**. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

HARZER, J. H.; SOUZA, A.; SILVA, W. V.; CRUZ, J. A. W. C. Abordagem probabilística do indicador TMA/TIR para avaliação do risco financeiro em projetos de investimentos. **Anais do XXI Congresso Brasileiro de Custos**, Natal, RN, Brasil, 2014.

HE, H.; YUE, Q.; QI, Y.; GAO, B.; ZHAO, Y.; YU, H.; LI, J.; LI, Q.; WANG, Y. The effect of incorporation of red mud on the properties of clay ceramic bodies. **Applied Clay Science**, v. 70, 2012, 67–73. Disponível em [www.elsevier.com/locate/clay](http://www.elsevier.com/locate/clay).



KUEHN, W. Digital factory: Integration of simulation enhancing the product and production process towards operative control and optimization. **International Journal of Simulation**, v. 7, n. 7, 2006, p. 27-29.

LIMA, J. C. F. Desenvolvimento de produtos lácteos inovadores. **Anais do XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Curitiba, PR, Brasil, 2014.

LIMA JUNIOR, M. P.; ALDATZ, R. J. Análise de investimento do segmento de transporte em condições de incerteza e risco. **Revista Ambiente Contábil**, UFRN – Natal-RN. v. 5. n. 1, p. 224 – 240, jan/jun, 2013.

MACEDO, R. M. P. R. **Aplicação da metodologia de planejamento de experimentos para formulação de massas cerâmicas para telhas**. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

MAIA, F. S. **Avaliação de massas cerâmicas, processamento e propriedades dos produtos de cerâmica vermelha do pólo cerâmico de Campos dos Goytacazes**. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2012.

MÁS, E. **Qualidade e tecnologia em cerâmica vermelha**. São Paulo: Editora Pólo Produções Ltda, 2002.

MARSHAL, C. **Medindo e Gerenciando Riscos Operacionais em Instituições Financeiras**. São Paulo: Editora Qualitymark, 2002.

MARSIGLI, M.; DONDI, M. Plasticità delle argille italiane per laterizi e previsione del loro comportamento in foggatura. 1997. Disponível em <http://www.researchgate.net/publication/268506198>

MEDEIROS, L. F.; MOSER, A.; SANTOS, N. A simulação computacional como técnica de pesquisa na administração. **Revista Intersaberes**, vol.9, n. especial, p.441-459, jul.- dez. 2014 ISBN 1809-7286.

MEDEIROS, R. L.; SANTOS, J. T. A. N.; KUWAHARA, N.; MOITA, M. H. V. Cenários logísticos alternativos para a cabotagem do estado do Amazonas utilizando simulação computacional. **Journal of Transport Literature**, Manaus, v. 9, n. 1, Jan/ 2015.

MILHEIRO, F. A. C.; FREIRE, M. N.; SILVA, A. G. P.; HOLANDA, J. N. F. Densification behaviour of a red firing Brazilian kaolinitic clay. Densification behaviour of a red firing Brazilian kaolinitic clay. **Ceramics International**, v. 31, p. 757 – 763, 2005.

MINARDI, A. M. A. F. Teoria de opções aplicadas a projetos de investimentos. **RAE - Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 40, n. 2, p. 74 – 79, abr/jun 2000.

MONTEIRO, S. N.; SANCHEZ, R.; VIEIRA, C. M. F. Comparison of roofing tile clay ceramic bodies from Campos dos Goytacazes, Brazil. **Silicates Industriels**, vol. 69 n. 11-12, 2004.

MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. Characterization of clays from Campos dos Goytacazes, North Rio De Janeiro State (Brazil). **Tile and Brick**, v. 18, n. 3, p 152 – 157, 2002.

MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. Influence of firing temperature on the ceramics properties of clays from Campos dos Goytacazes, Brazil. **Applied Clay Science**, v. 27, p. 229 – 334, 2004.

MONTORO, S. B.; SANTOS, D. F. L.; LUCAS Jr., J. Análise econômica de investimentos que visam à produção de biogás e biofertilizante por meio de biodigestão anaeróbia na bovinocultura de corte. **Anais do XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Bento Gonçalves, RS, Brasil, 2012.

MORAES, D. M. **Briquetes de resíduos ligno-celulósicos como potencial energético para a queima de blocos cerâmicos: aplicação em uma indústria de cerâmica vermelha que abastece o Distrito Federal.** Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, 2007.

MOTTA, J. F. M., ZANARDO, A., JUNIOR, M. C. As matérias primas Cerâmicas. Parte I: O perfil das principais indústrias cerâmicas e seus produtos. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 6, n. 2, p. 28-38, 2001.

MOTTA, R. R.; CALÔBA, G. M. **Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais.** São Paulo: Editora Atlas, 2009.

NECKEL JUNIOR, L. Processamento de telhas cerâmicas por compactação de pós e queima em forno a rolo. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

NZEUKOU, A. N.; FAGEL, N.; NJOYA, A.; KAMGANG, V. B.; MEDJO, R. E.; MELO, U. C. Mineralogy and physico-chemical properties of alluvial clays from Sanaga valley (Center, Cameroon): Suitability for ceramic application. **Applied Clay Science**, v. 83 - 84, p. 238 - 243, 2013. Disponível em [www.elsevier.com/locate/clay](http://www.elsevier.com/locate/clay).

OLIVEIRA, M. H. F. **A avaliação econômico-financeira de investimentos sob condição de incerteza: uma comparação entre o método de monte carlo e o VPL fuzzy.** Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

PASCHOAL, J. A. A. **Estudo de parâmetros de qualidade para a cerâmica estrutural vermelha.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, 2003.

PEÇANHA JÚNIOR, L. A. F. **Reformulação de massa cerâmica para telhas do município de Campos dos Goytacazes.** 2006. 124 p. Dissertação

(Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro – Campos dos Goytacazes.

PEDROTI, L. G.; ALEXANDRE, J. XAVIER, G. C.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F.; BAHIENSE, A. V.; MAIA, P. C. A. Desenvolvimento de Massa Cerâmica para Blocos Queimados e Prensados. **Cerâmica Industrial**, v. 16, nº 1, p. 25 – 30, Jan/Fev, 2011.

PENA, H. W. A.; HOMMA, A. K. O.; SILVA, F. L. Análise de viabilidade econômica: um estudo aplicado a estrutura de custo da cultura do dendê no Estado do Pará-Amazônia-Brasil. **Revista OIDLES**, v. 5, nº 11, 2011. Disponível em <http://www.eumed.net/rev/oidles/11/phs.html>. Acesso em: 23 set. 2015.

PEREZ, C. A. S.; GOBBI, D.; MARCOS, J. L. N.; PADUANI, C.; ARDISSON, J. D. Caracterização de argilas encontradas em solos de terras indígenas do RS com auxílio da espectroscopia Mossbauer de  $^{57}\text{Fe}$ . **Revista Cerâmica**, São Paulo, v. 50, n. 314, Abril/Junho 2004.

PISSATO, E. **Gestão sustentável da mineração no município de Guarulhos – aproveitamento de resíduos finos em cerâmica vermelha**. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, Guarulhos, 2009.

PONTIKES, Y.; ESPOSITO, L.; TUCCI, A.; ANGELOPOULOS, G. N. Thermal behaviour of clays for traditional ceramics with soda–lime–silica waste glass admixture. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 27, p. 1657 – 1663, 2007. Disponível em [www.elsevier.com/locate/jeurceramsoc](http://www.elsevier.com/locate/jeurceramsoc).

PORTO, A. J. V.; SOUZA, M. C. F.; RAVELLI, C. A.; BATOCHIO, A. C. Manufatura Virtual: Conceituação e desafios. **Gestão & Produção**, v.9, n.3, p.297 – 312, 2002.

PRADO, C. M. O. **Caracterização química e mineralógica das argilas utilizadas na produção de cerâmica vermelha no Estado de Sergipe**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2011.

PRADO, U. S.; BRESSIANI, J. C. Panorama da Indústria Cerâmica Brasileira na Última Década. **Cerâmica Industrial**, v. 18, n. 1, 2013. Disponível em <http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v18n1/v18n1a01.pdf>. Acesso em: 25 set. 2015.

PUREZA, J. C. C. **Utilização de resíduos industriais de baixa granulometria em massas cerâmicas de argila vermelha: aspectos tecnológicos e ambientais**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

RAMOS, I. S.; ALVES, M. G.; ALEXANDRE, J. Diagnóstico do pólo cerâmico de Campos dos Goytacazes – RJ, **Cerâmica Industrial**, v. 11, n. 1, p. 28-32, 2006.

RAMOS FILHO, S. O.; MACEDO, R. S.; CARTAXO, J. M.; MENEZES, R. R.; NAVARRO, L. N. R.; NEVES, G. A. Caracterização de argilas usadas para cerâmica estrutural. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.5, n.3, p. 65 - 70, 2010 ISSN 1809-8797.

RANGEL, J. J. A.; SOUZA, A. A.; BASTOS, P. J. T.; BAPTISTA, R. C. T. Simulação a eventos discretos para treinamento em sistemas de controle. **Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, v.4, n.1, p. 97-111, 2012.

REBELATTO, D. A. N. **Projeto de investimento: com estudo de caso completo na área de serviços**. Barueri: Manole, 2004.

RCC – REDE CAMPOS CERÂMICA. **Dados Oficiais**. Disponível em: <http://www.redecamposceramica.com.br>. Acesso em: 20 fev. 2018.

RIBEIRO, L. S. Os empreendimentos e estratégias para o desenvolvimento da cerâmica vermelha no Brasil: estudo de caso de Campos dos Goytacazes. **IV Congresso Nacional de Excelência Gestão**, Niterói, RJ, 2008.

RIBEIRO, M. J.; FERREIRA, A. A. L.; LABRINCHA, J. A. Aspectos fundamentais sobre a extrusão de massas de cerâmicas vermelhas. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 37 – 42, jan/fev 2003.

RODRIGUES, K. F. C. **Sistematização e análise da avaliação econômica de projetos de desenvolvimento de produtos e serviços**. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

SAKURADA, N.; MIYAKE, D. I. Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 16, n. 1, p. 25 - 43, jan - mar 2009.

SAMPAIO FILHO, A. C. S. **Taxa Interna de Retorno Modificada: proposta de implementação automatizada para cálculo em projetos não-periódicos, não necessariamente convencionais**. Dissertação (Mestrado) em Administração – Faculdade de Economia e Finanças IBMEC, Rio de Janeiro, 2008.

SANTOS, E. M. ; PAMPLONA, E. O. Opções reais: um caso prático em pesquisa e desenvolvimento. **Anais do XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)**, Ouro Preto, MG, Brasil, 2003.

SANTOS, G. M. **Estudo do comportamento térmico de um forno túnel aplicado à indústria de cerâmica vermelha**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SANTOS, J. A. A.; MONTEIRO, C. I.; SHIOYA, H. M.; SOUZA, R. C.; FERRÃO, S. R. Modelagem, simulação e otimização da dinâmica operacional do processo de fabricação de placas de sinalização. **Revista GEINTEC** – ISSN: 2237-0722. São Cristóvão/SE. V. 4, n. 1, p. 692 - 703, 2014.

SANTOS, P. S.; COELHO, A. C. V.; SANTOS, H. S.; KIYOHARA, P. K. Preparação de sóis aquosos de pseudoboemita com fibrilas de comprimentos diferentes. **Cerâmica**, v. 55, p. 135-144, 2009

SANTOS, P. S. **Ciência e Tecnologia das Argilas**. 2. ed. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 1989.

SCHAICOSKI, J. C. **A utilização do ROI na análise de projetos de tecnologia da informação**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

SILVA, A. C.; PITHON, A. J. C.; FERNANDES, J. L.; SANTOS, L. M. Análise de viabilidade econômica financeira para a implantação de uma central de massa em uma indústria cerâmica de Itaboraí, RJ. **Cerâmica**, v. 60, 2014, p. 490-500.

SILVA, B. Q. T. **Avaliação de projetos de investimento pelas maiores empresas brasileiras: uma análise multivariável**. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Minho – Escola de Economia e Gestão, Braga, Portugal, 2011.

SILVA, L. M. F.; PINTO, M. G.; SUBRAMANIAN, A. Utilizando o software Arena como ferramenta de apoio ao ensino em engenharia de produção. **Anais do XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)**, Foz do Iguaçu, PR, 2007.

SILVA, R. M., BELDERRAIN, M. C. N., **Considerações sobre análise de sensibilidade em análise de decisão**, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Divisão de Engenharia Mecânica-Aeronáutica, 2004.

SOUZA, G. P.; HOLANDA, J. N. F. Characterization of non-calcareous “thin” red clay from south-eastern Brazil: applicability in wall tile manufacture. **Cerâmica**, v. 58, p. 29 - 35, 2012.

SOUZA, G. P.; SOUZA, S. J. G.; TERRONES, L. A. H.; HOLANDA, J. N. F. Análise mineralógica de argilas sedimentares brasileiras usadas em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 51, p. 382 – 387, 2005.

SOUZA JUNIOR, A. T.; MEDEIROS, A. T.; SANTOS, F. R. A.; PENA, H. W. A.; ALEXANDRE, R. C. Análise de viabilidade econômica: implantação de uma indústria cerâmica vermelha de pequeno porte no estado do Pará. (2012) Disponível em <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/11/jmspa.html>. Acesso em: 20 set 2015.

SOUZA, A; CLEMENTE, A. **Decisões financeiras e análise de investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

VIEIRA, C. M. F. **Caracterização das argilas de Campos dos Goytacazes visando à fabricação de revestimento cerâmico semiporoso**. 126 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro - Campos dos Goytacazes, 2001.

VIEIRA, C.M.F. Desenvolvimento de telhas extrudadas. Programa Básico – ADT1 – Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico. Rio de Janeiro: FAPERJ, 2012.

VIEIRA, C. M. F.; HOLANDA, J. N. F.; PINATTI, D. G. Caracterização de massa cerâmica vermelha utilizada na fabricação de tijolos na região de Campos dos Goytacazes – RJ. **Cerâmica**, v. 46, p. 14 – 17, 2000.

VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N.; DUALIBI FH, J. Considerações sobre o uso da granulometria como parâmetro de controle de uma argila sedimentar. **Cerâmica Industrial**, v. 10, p. 23 - 26, 2005.

VIEIRA, C. M. F.; PINHEIRO, R. M. Avaliação de argilas caulínicas de Campos dos Goytacazes utilizadas para fabricação de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 57, p. 319 - 323, 2011.



VIEIRA, C. M. F.; SOARES, T. M.; MONTEIRO, S. N. Massas cerâmicas para telhas: Características e comportamento de queima. **Cerâmica**, v. 49, p. 245 - 250, 2003.

VILELA, M. C.; ARAÚJO, K. D.; MACHADO, L. S.; MACHADO, M. R. R. Análise da viabilidade econômico-financeira de projeto de piscicultura em tanques escavados. **Anais do 9º Congresso USP de Iniciação Científica em Contabilidade**. São Paulo, SP, 2012.

YAKUB, I.; DU, J.; SOBOYEJO, W. O. Mechanical properties, modeling and design of porous clay ceramics. **Materials and Science & Engineering A**, v. 558, p. 21 - 29, 2012. Disponível em [www.elsevier.com/locate/msea](http://www.elsevier.com/locate/msea).