

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA



**Impacto da Tecnologia da Informação no Desempenho Econômico
de Firms em Duopólio: Concorrência Preço-Qualidade sob
Condição de Incerteza**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Economia da Universidade Federal de Pernambuco, em cumprimento às exigências para a obtenção do título de **Mestre em Economia**, por

Eliana Sangreman Lima
Orientador: Prof. Dr. Francisco de Sousa Ramos

Recife – PE
2006

Lima, Eliana Sangreman

Impacto da tecnologia da informação no desempenho econômico de firmas em duopólio : concorrência preço-qualidade sob condição de incerteza / Eliana Sangreman Lima. – Recife : O Autor, 2006.

x, 74 folhas : il., fig., tab. e quadros

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CCSA. Economia, 2006.

Inclui bibliografia e anexos.

1. Microeconomia – Investimento - Desempenho econômico. 2. Tecnologia da informação. 3. Duopólio. 4. Incerteza. I. Título.

**330.101.542
338.5**

**CDU (2.ed.)
CDD (22.ed.)**

**UFPE
BC2006-228**

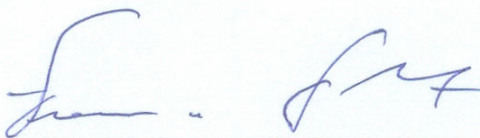
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA
PIMES/PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

**PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE
DISERTAÇÃO DO MESTRADO PROFISIONAL EM ECONOMIA DE**

ELIANA SANGREMAN LIMA

A Comissão Examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera a candidata **APROVADA**.

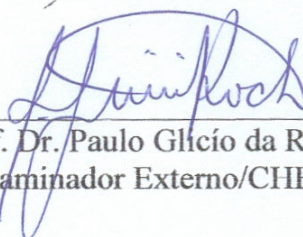
Recife, 30/12/05



Prof. Dr. Francisco de Sousa Ramos
Orientador



Prof. Dr. Álvaro Barrantes Hidalgo
Examinador Interno



Prof. Dr. Paulo Glicio da Rocha
Examinador Externo/CHESF

*À memória do meu pai Lauro
e ao meu filho Pedro Paulo que, embora distantes,
certamente compartilham juntos comigo esta
realização.*

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial à minha mãe Lienita, pelas horas preciosas, durante as quais tive de me furtar ao seu convívio. Aos meus pequenos Serginho e Lau, que algum dia certamente entenderão esta ausência.

Aos amigos Luiz Godoy e a Jaime Recena (*in memoriam*) que incentivaram minha incursão no Mestrado de Economia.

Ao professor e orientador Francisco Ramos, pelo incentivo oferecido, pelas suas orientações sempre pertinentes e construtivas.

A meus companheiros de mestrado pelo companheirismo e amizade, em especial a Antonio Carlos, pela paciência, disponibilidade e excelência na tarefa árdua e inestimável de revisão das equações do Modelo e a Tarcísio Bacelar, pelo incentivo permanente.

A minha amiga Vilma Abadie, grande companheira do Mestrado em Administração, pela revisão preciosa do texto.

A Sandra Camelo pela confiança e compreensão e a todos os meus amigos e colegas de trabalho da CHESF/STI, que respeitaram os meus momentos de estresse dos últimos meses.

Aos meus amigos de todas as horas, pelas ausências nem sempre entendidas, nem sempre aceitas que espero possa recuperar!

A todos aqueles que contribuíram de alguma forma para que este trabalho pudesse ser concretizado.

Meus agradecimentos

Eliana Sangreman

“As palavras que possuímos não têm senão significados confusos, aos quais o espírito dos homens se acostumou há muito tempo e essa é a causa de não entenderem quase coisa nenhuma perfeitamente”.

*Descartes a seu amigo Mersenne, em
novembro de 1629.*

RESUMO

LIMA, E. S. “**Impacto da Tecnologia da Informação no Desempenho Econômico de Firms em Duopólio: Concorrência Preço-Qualidade sob Condição de Incerteza**”, 2006, 84f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Programa de Pós-Graduação do Departamento de Economia – PIMES, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

As firmas têm feito uso cada vez mais intensivo e amplo da Tecnologia da Informação - TI, com o objetivo de manter-se competitivas. Considerada uma poderosa ferramenta empresarial, as firmas investem nesta tecnologia acreditando num aumento do desempenho organizacional, credibilidade esta amparada pela ampla propaganda de fornecedores de Tecnologia. Entretanto, nas últimas duas décadas esta questão tem sido amplamente estudada nos meios acadêmicos e os resultados não levam exatamente a constatar esse benefício. Ainda não foi possível responder com segurança o quanto esses investimentos trouxeram de aumento de produtividade ou de aumento de riqueza para as empresas e para seus países.

Esta pesquisa desenvolve um modelo analítico para análise econômica do impacto de investimentos de Tecnologia da Informação - TI no desempenho de firma atuando numa estrutura de mercado de duopólio, em competição de Preço e Qualidade e em *situação de incerteza* quanto aos custos do concorrente. Ou seja, considera-se que estes custos possam ser altos ou baixos, associando-os a uma distribuição de probabilidade discreta, em relação aos custos da firma, ou ao que esta perceba como custos altos ou baixos para o concorrente.

Os resultados alcançados propiciam uma contribuição ao estudo do tema, pelo fato de agregar a condição de incerteza a outros estudos já desenvolvidos. O modelo analítico é acompanhado de simulações, que verificam o impacto nas variáveis de desempenho organizacional: *lucro e produtividade*, para diversos objetivos de investimentos em TI que pretendem reduzir custos variáveis da firma.

Palavras-chave: investimento, tecnologia da informação, desempenho econômico, duopólio, incerteza.

ABSTRACT

LIMA, E. S. “**Impact of Information Technology on the Firm Economic Performance in Duopoly Market: Price and Quality Competition under Uncertainty**”, 2006, 84f. Thesis (MSc in Economy) – Programa de Pós-Graduação do Departamento de Economia – PIMES, Centre for Applied Social Sciences, Federal University of Pernambuco, Recife, 2006.

The firms have used increasingly the Information Technology – IT, following the objective to be competitive along the time. Considering as a powerful enterprise tool, the firms invest on technology believing in the increase of organizational performance. This credibility is related to the big IT supplier advertise. But, on the last two decades, this question has been intensively studied on academic medium and the results didn't evidence this benefit. Up to now, it was not possible to answer how much IT investment brought in productivity or in profit to the companies and their countries.

This research develops an analytical model to an economic analysis of the IT investment impact on the firm performance acting on duopoly market, in price and quality competition and under uncertainty of the concurrent costs. It considers that the concurrent costs can be high or low, applying to them a discrete probability distribution, comparing the firm's own costs or to what the firm considers high or low costs to the concurrent.

The reached results propitiate a contribution to the theme studied, considering the fact that an uncertainty condition has been aggregated to other studies developed before. The analytical model is checked with simulation that verifies the impact on organizational performance variables: *profit* and *productivity*, to several IT investment objectives that target to reduce firm variable cost.

Key words: investment, information technology, economic performance, duopoly, uncertainty.

INDICE

AGRADECIMENTOS	IV
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
SUMÁRIO DE QUADROS	VIII
SUMÁRIO DE FIGURAS	IX
1. INTRODUÇÃO	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
2.1. DESEMPENHO ORGANIZACIONAL	5
2.2. REVISÃO DA LITERATURA SOBRE O TEMA: INVESTIMENTOS EM TI <i>VERSUS</i> PERFORMANCE	8
2.3. MERCADOS IMPERFEITAMENTE COMPETITIVOS	13
3. METODOLOGIA DE PESQUISA	14
4. FORMULAÇÃO DO MODELO ANALÍTICO COM INCERTEZA DE CUSTOS.....	17
4.1. FUNÇÃO DEMANDA.....	17
4.2. FUNÇÃO CUSTO	19
4.3. FUNÇÃO LUCRO ESPERADO.....	22
4.4. CÁLCULO DOS VALORES DE EQUILÍBRIO.....	23
5. ANÁLISE DO MODELO	30
5.1. IMPACTO DE INVESTIMENTOS EM TI NO LUCRO	30
5.1.1. <i>Redução do parâmetro f</i>	31
5.1.2. <i>Redução do parâmetro e</i>	33
5.2. IMPACTO DE INVESTIMENTOS EM TI NA PRODUTIVIDADE	36
5.2.1. <i>Redução do parâmetro f</i>	36
5.2.2. <i>Redução do parâmetro e</i>	41
5.3. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS COM E SEM INCERTEZA.....	45
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
ANEXOS	52

SUMÁRIO DE QUADROS

Quadro 1.1: Comparação dos trabalhos de Barua et al (1991), Thatcher & Oliver (2001) e Quan et al (2003).....	2
Quadro 2.1 – Estudos sobre o impacto de TI na produtividade organizacional, realizados na última década.....	10
Quadro 5.1 – Impacto de TI no lucro, comparado com os resultados encontrados por QUAN et al (2003).....	46
Quadro 5.2 – Impacto de TI na produtividade, comparado com os resultados encontrados por QUAN et al (2003).....	47

SUMÁRIO DE FIGURAS

Figura 2.1: Desempenho Organizacional: Modelo Triplo-P.....	6
Figura 2.2–Modelo conceitual do relacionamento de TI com a performance.....	11
Figura 3.1 – Esquematização da metodologia de pesquisa.....	14
Figura 3.2 – 1ª Etapa: Formulação do Modelo Analítico.....	15
Figura 3.3 - Modelo Analítico com distribuição de probabilidade discreta de custos e diferenciação de produto.....	15
Figura 3.4 – 2ª Etapa: Simulação.....	16
Figura 5.1 – Impacto de TI no lucro com redução de f , grau de certeza igual a 0.2.....	16
Figura 5.2 – Impacto de TI no lucro com redução de f , grau de certeza igual a 0.5.....	32
Figura 5.3 – Impacto de TI no lucro com redução de f , grau de certeza igual a 0.9.....	33
Figura 5.4 – Impacto de TI, no lucro com redução de e , grau de certeza igual a 0.2.....	34
Figura 5.5 – Impacto de TI no lucro, com redução de e , grau de certeza igual a 0.5.....	35
Figura 5.6 – Impacto de TI no lucro, com redução de e , grau de certeza igual a 0.9.....	35
Figura 5.7 – Impacto de TI na produtividade, com redução de f , grau de certeza igual a 0.2 e $F_i = 1.200$	37
Figura 5.8 – Impacto de TI na produtividade, com redução de f , grau de certeza igual a 0.2 e $F_i = 100$	38
Figura 5.9 – Impacto de TI na produtividade, com redução de f , grau de certeza igual a 0.5 e $F_i = 1.200$	38
Figura 5.10 – Impacto de TI na produtividade, com redução de f , grau de certeza igual a 0.5 e $F_i = 100$	39

Figura 5.11 – Impacto de TI na produtividade, com redução de f , grau de certeza igual a 0.9 e $F_i = 1.200$	39
Figura 5.12 – Impacto de TI na produtividade, com redução de e , grau de certeza igual a 0.9 e $F_i = 100$	40
Figura 5.13 – Impacto de TI na produtividade, com redução de e , grau de certeza igual a 0.2 e $F_i = 1.200$	41
Figura 5.14 – Impacto de TI na produtividade, com redução de e , grau de certeza igual a 0.2 e $F_i = 100$	41
Figura 5.15 – Impacto de TI na produtividade, com redução de e , grau de certeza igual a 0.5 e $F_i = 1.200$	42
Figura 5.16 – Impacto de TI na produtividade, com redução de e , grau de certeza igual a 0.5 e $F_i = 100$	43
Figura 5.17 – Impacto de TI na produtividade, com redução de e , grau de certeza igual a 0.9 e $F_i = 1.200$	44
Figura 5.18 – Impacto de TI na produtividade, com redução de e , grau de certeza igual a 0.9 e $F_i = 100$	44

1. INTRODUÇÃO

As firmas têm feito uso cada vez mais intensivo e amplo da Tecnologia da Informação - TI com o objetivo de manterem-se competitivas. Considerada uma poderosa ferramenta empresarial, as firmas investem pesadamente nesta tecnologia acreditando conseguir um aumento do desempenho organizacional, credibilidade esta amparada pela ampla propaganda de fornecedores de Tecnologia. Entretanto, nas últimas duas décadas, essa questão tem sido amplamente estudada nos meios acadêmicos e os resultados não levam exatamente a constatar este benefício.

Apesar de alguns estudos empíricos recentes em empresas de diversos setores da economia terem encontrado uma relação positiva entre investimentos em TI e produtividade (Teo et al (2000), Thatcher & Oliver (2001), Quan et al (2003), entre outros), os resultados ainda não são conclusivos. Esta aparente inconsistência de gastos e investimentos com TI não se traduzirem em aumento de produtividade é conhecida como **paradoxo da produtividade**¹. Ainda não foi possível responder com segurança o quanto estes investimentos trouxeram de aumento de produtividade ou de aumento de riqueza para as empresas e para seus países.

Em um mercado competitivo, com o objetivo de se diferenciar de seus concorrentes, as firmas investem em TI para melhorar a qualidade de bens ou serviços. Como resultado, os concorrentes são induzidos a prover níveis de qualidade similares, trazendo benefícios para os consumidores.

Quatro trabalhos encontrados na literatura acadêmica, relativamente recentes, propõem modelos analíticos para estudar esta questão. Os estudos de Barua et al (1991), Thatcher & Oliver (2001), Quan et al (2003) e Thatcher (2004) analisam o impacto de investimentos em Tecnologia da Informação na performance de firmas, em diferentes estruturas competitivas de mercado. Esses trabalhos consideram um ambiente sem incertezas e incorporam a diferenciação do produto, ao introduzir na função demanda o parâmetro de qualidade Q_0 . O Quadro 1.1 mostra a evolução do estudo deste tema, indicando as diferenças fundamentais consideradas pelos autores, no que diz respeito ao tipo de competição, à demanda e ao custo do concorrente.

Como uma extensão dos trabalhos de Barua et al (1991), Thatcher & Oliver (2001), Quan et al (2003), e Thatcher (2004) insere-se nesta pesquisa a *incerteza*² sobre os custos do competidor, em uma estrutura de mercado de duopólio, em concorrência de preço P e qualidade Q_0 . Ou seja, consideram-se informações incompletas sobre os custos do concorrente, associando-os a distribuições de probabilidades discretas. Também no Quadro 1.1, para fins de comparação com os trabalhos desses autores, inserem-se os elementos de competição, demanda e custo considerados nesta pesquisa.

Quadro 1.1: Comparação dos trabalhos de Barua et al (1991), Thatcher & Oliver (2001), Quan et al (2003) e Thatcher (2004)

Autor	Tipo de competição	Demanda	Custo do concorrente
Barua et al (1991)	Duopólio	$f(Q_0)$	Certo
Thatcher & Oliver (2001)	Monopólio	$f(P, Q_0)$	Certo
Quan et al (2003) e	Duopólio	$f(P, Q_0)$	Certo
Thatcher (2004)	Duopólio	$f(P, Q_0)$	Certo
<i>Esta pesquisa</i>	Duopólio	$f(P, Q_0)$	Incerto

Fonte: Elaboração própria

O trabalho de Barua et al (1991) apresenta um modelo analítico para análise econômica de investimentos em TI, com foco em uma estrutura de mercado de duopólio, em que uma firma é mais eficiente que a concorrente, na redução de custos por investimentos em TI, para um mesmo nível de qualidade de serviços oferecido aos consumidores.

Thatcher & Oliver (2001) desenvolvem um modelo analítico para uma melhor compreensão do impacto esperado nas medidas de produtividade e lucratividade das firmas que vários tipos de investimentos em TI possam proporcionar. O modelo considera um

¹ O termo *Paradoxo da Produtividade* tornou-se conhecido em 1987 quando o ganhador do Nobel de Economia Robert M. Solow expressou: “We see computers everywhere, but not in the productivity statistics” (www.indeg.org/rpg3/paradoxo.html).

² Neste trabalho não se considera a distinção entre incerteza (situações nas quais muitos resultados são possíveis com probabilidades de ocorrências desconhecidas) e risco (situações às quais é possível relacionar todos os possíveis resultados, assim como estabelecer a probabilidade de ocorrência de cada um deles). O uso de ambos os termos é aqui interpretado como definido por risco.

monopolista de um único produto que projeta e produz seu bem ou serviço caracterizado por dois atributos: qualidade e preço unitário, ambos determinados pela firma.

O estudo de Quan et al (2003) estende ambos os trabalhos de Thatcher & Oliver (2001) e Barua et al (1991), quando propõe um modelo para avaliar os impactos de investimentos em TI na performance e produtividade da firma, considerando uma estrutura de mercado de duopólio em competição de preço e qualidade. Os resultados encontrados por Barua et al (1991), Thatcher & Oliver (2001) e Quan et al (2003) estão explicitados no Capítulo 2.

A decisão das firmas oligopolistas de definir seus níveis de produção, seus preços e nível de qualidade de seus produtos, é complexa porque cada empresa deve operar estrategicamente, ou seja, ao tomar uma decisão, a firma deve ponderar sobre as prováveis reações dos concorrentes (Pindyck & Rubinfeld, 2002). A suposição pela firma de um custo incerto do competidor significa uma tomada de decisão com um considerável grau de incerteza, o que é mais condizente com situações reais. Assim, com o objetivo de contribuir com a literatura acadêmica sobre o tema, esta pesquisa busca responder à seguinte pergunta:

Como a decisão estratégica de investir em TI, em uma estrutura de mercado de duopólio em concorrência de preços e qualidade e com incerteza de custos do concorrente, impacta o desempenho econômico da firma?

Esta pesquisa teve como objetivo principal a construção de um modelo econômico analítico, para avaliar o impacto de investimentos em TI no desempenho de firmas em duopólio, em situação de incerteza. Como objetivo secundário, a realização de comparações com os trabalhos de Quan et al (2003), através de simulações do modelo, verificando-se de que modo a variável de incerteza agrega valor à discussão sobre o tema.

São seis os capítulos que compõem esta dissertação. Neste primeiro capítulo, contextualiza-se o problema, explicita-se a pergunta de pesquisa e apresentam-se os seus objetivos principal e secundário. O segundo capítulo apresenta os fundamentos conceituais necessários ao desenvolvimento da pesquisa, fazendo-se preliminarmente uma revisão do conceito de desempenho organizacional, um estudo na literatura sobre pesquisas que estudam o impacto de investimentos em TI nesta variável e, também, uma breve referência à teoria de mercados imperfeitamente competitivos. O terceiro capítulo descreve a metodologia que norteou a pesquisa. O quarto capítulo apresenta a formulação do Modelo Analítico em

situação de incerteza. O quinto capítulo demonstra o Modelo por meio de uma simulação, que possibilita a comparação com pesquisa anterior, realizada por Quan et al (2003) e analisa os resultados encontrados. O sexto capítulo apresenta as principais conclusões e limitações da pesquisa e recomendação para futuras pesquisas sobre o tema.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Três subitens compõem esta fundamentação teórica. O primeiro é uma revisão do conceito de *desempenho organizacional*, tendo em vista as diferentes variáveis que a compõe, citadas nas várias pesquisas de diferentes autores sobre o tema aqui trabalhado. Parte-se do conceito mais amplo de desempenho organizacional, para de contextualizar o desempenho econômico. O segundo é um estudo na literatura sobre *pesquisas que analisam o impacto de investimentos em TI no desempenho econômico*. O último traz uma revisão de *mercados imperfeitamente competitivos*. Estes três elementos são basilares para o desenvolvimento deste trabalho.

2.1. Desempenho Organizacional

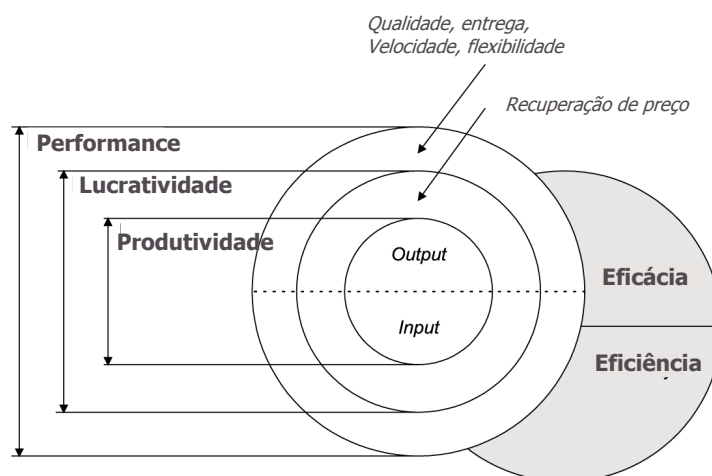
Os termos produtividade e performance organizacional, embora largamente utilizados, tanto nos meios acadêmicos quanto nos meios comerciais, não são adequadamente definidos ou explicados, sendo algumas vezes confundidos com termos como eficiência, efetividade e lucratividade (Tangen, 2005).

Segundo o modelo proposto por Sink e Tuttle (1993) apud Rosa et al (1996) a performance de um sistema organizacional é composta por um complexo inter-relacionamento de vários parâmetros ou critérios de desempenho, denominados: eficácia, eficiência, produtividade, qualidade, inovação e lucratividade para os centros de lucro, ou orçamentabilidade para os centros de custo e organizações sem fins lucrativos.

Segundo Tangen (2005), o desempenho é um termo mais amplo, que abrange ambos os aspectos econômico e operacional. Inclui objetivos de competição e excelência industrial, e inclui lucro e produtividade assim como outros fatores de não-custo, tal como qualidade, velocidade, entrega e flexibilidade. O desempenho pode ser descrito como um termo “guarda-chuva” para todas as variáveis que medem o êxito de uma firma e suas atividades. Uma visão esquemática para um entendimento sobre estes diversos conceitos, e como eles se relacionam, é mostrada na Figura 2.1, conhecida como Modelo Triplo-P .

A produtividade é o núcleo central do Modelo Triplo-P e tem uma definição operacional bastante clara como a relação entre a quantidade produzida (produtos corretamente produzidos que satisfazem suas especificações) e quantidade de insumos (todos recursos que são consumidos no processo de transformação).

Figura 2.1: Desempenho Organizacional:
Modelo Triplo - P



Fonte: Tangen (2005)

Uma importante área de pesquisa em economia é a compreensão das causas do crescimento da produtividade. Segundo Pindyck & Rubinfeld (2002), uma das principais fontes deste crescimento é a mudança tecnológica – novas tecnologias que permitem um uso mais eficiente da força de trabalho para produzir novos bens e serviços e de melhor qualidade.

Segundo Tangen (2005), a lucratividade também relaciona saída e entrada de um processo, mas apenas sob o aspecto monetário. Genericamente, o termo lucratividade é a meta primordial para o êxito e crescimento de qualquer negócio. Pode ser definido como a relação existente entre o resultado financeiro alcançado pelo sistema organizacional e os custos que propiciaram alcançá-lo e atende, principalmente, às necessidades de acionistas. Um crescimento da produtividade não necessariamente leva a um crescimento do lucro em curto prazo, mas é mais provável que este seja alcançado no longo prazo.

O termo eficácia representa o grau em que os resultados desejados são alcançados. O grau de eficácia de um sistema deve traduzir a forma pela qual o sistema realiza aquilo a

que se propôs, bem como refletir os objetivos corretos por ele alcançados. Eficiência representa quão bem os recursos do processo de transformação são utilizados.

Para Rosa et al (1996), a eficiência deve estar associada ao consumo de recursos e pode ser visualizada no lado referente às entradas. Uma definição operacional para a eficiência pode ser estabelecida pela relação entre consumo previsto de recursos e consumo efetivo de recursos. Se maior que um, então o sistema foi mais eficiente do que se esperava, uma vez que consumiu menos recursos do que o previsto; se menor que um, o sistema foi menos eficiente. Segundo Varian (1992), a eficiência da produção se dá quando não há como produzir mais bens e serviços com os mesmos insumos ou se não há como produzir o mesmo produto com menos insumos. Este é o conceito clássico utilizado por Pindyck & Rubinfeld (2002), entre outros autores.

Segundo Tangen (2005), qualidade e produtividade freqüentemente atuam juntas, embora sejam dois conceitos diferentes. As operações de alta-qualidade não desperdiçam tempo nem esforço com re-trabalho, nem têm reclamações de clientes devido a serviço não compatível com o especificado. O conceito de qualidade é freqüentemente utilizado em um contexto mais amplo, relacionando tanto a processos como a produtos, assim como incluindo fatores tanto tangíveis quanto intangíveis.

Enquanto a eficiência está relacionada ao consumo de recursos e a eficácia aos resultados, a qualidade, como parâmetro de desempenho, é mais difusa em função de sua importância, em todos os estágios do sistema organizacional: verificação da garantia da efetividade dos recursos; confirmação de que o sistema organizacional efetivamente está recebendo os recursos de que necessita. A qualidade garante que os resultados, gerados pelo sistema organizacional, satisfazem às especificações e requisitos estabelecidos; reflete a compreensão detalhada e significativa daquilo que os clientes querem, precisam, esperam e exigem e, de como estão reagindo à entrega dos bens e serviços, que o sistema organizacional está fornecendo (Rosa et al, 1996).

Segundo o Modelo Triplo-P, velocidade, entrega e flexibilidade são variáveis que contribuem para a performance organizacional. Operações rápidas reduzem o nível de despesas administrativas. A entrega, exatamente como planejada, corresponde a uma operação segura. Operações flexíveis permitem às firmas adaptar-se rapidamente a

circunstâncias variáveis, sem maiores impactos. Operações de baixo custo levam a lucros mais altos assim como permitem a que a firma venda seus produtos a um preço competitivo.

Esta seção, “Desempenho Organizacional”, tratou dos aspectos conceituais de uma forma geral. As próximas seções abordam os aspectos econômicos, que são objeto deste trabalho.

2.2. Revisão da literatura sobre o tema: Investimentos em TI *versus* Performance

Inúmeros trabalhos teóricos e práticos são encontrados na literatura acadêmica e não acadêmica que tratam com a polêmica questão da real contribuição da Tecnologia da Informação na produtividade ou em outros indicadores de desempenho organizacional³. A questão, mundialmente conhecida como **paradoxo da produtividade**, instiga economistas e acadêmicos que, utilizando as mais diversas técnicas, nem sempre conseguem resultados relevantes. As pesquisas ainda não são totalmente conclusivas.

Contribuindo para entender a relação entre TI e produtividade, Brynjolfsson (1993) propõe quatro possíveis explicações para o paradoxo da produtividade: medições inadequadas; tempo necessário para aprendizagem e ajustes não considerados; redistribuição de lucros e gerenciamento inadequado da informação e da tecnologia.

Considerando que os resultados de pesquisas anteriores, que concluem pela tênue relação entre investimentos em TI e o desempenho financeiro, são devidos ao fato de que muitas empresas implementam projetos de TI de forma ineficiente, Stratopoulos & Dehning (2000) propõem que, como qualquer outro recurso, a TI deve ser utilizada eficientemente para que se possa obter ganhos financeiros. Os autores estudam a questão do gerenciamento inadequado da TI, explicitada por Brynjolfsson (1992), como uma das possíveis explicações para o paradoxo da produtividade. Utilizando estatística não paramétrica, os autores analisam dez medidas financeiras de desempenho (indicadores de lucratividade e eficiência), comparando empresas de vários setores da economia consideradas como “usuárias bem

³ Para maiores detalhes sobre a discussão, ver Barua et al (1991); Brynjolfsson (1993); Wang et al (1997); Li & Ye (1999); Stratopoulos & Dehning (2000); Teo et al (2000); Thatcher & Oliver (2001); Wainer (2002); Quan et al (2003); Ko & Osei-Bryson (2004).

sucedidas de TI” e outras empresas “consideradas usuárias não bem sucedidas de TI”, definidas desta forma por especialistas independentes no campo da TI. A análise estatística indica que as primeiras possuem um desempenho superior à suas concorrentes, em lucratividade e eficiência. Conclui-se que, mais importante do que o montante que se gasta em TI é a forma como esta é gerenciada.

Semelhanamente, Thatcher & Oliver (2001) justificam os resultados, nem sempre conclusivos, das pesquisas pelo fato de que os estudos realizados não consideram os diferentes propósitos da tecnologia: (i) aumento da eficiência da produção – quando o investimento em tecnologia permite à empresa produzir um dado produto ou serviço com menos recursos; (ii) melhora da qualidade – quando o investimento em tecnologia permite criar novos produtos ou agregar novas características a um produto existente, fazendo com que o consumidor deseje consumi-lo; e, (iii) aumento da produtividade – quando o investimento em tecnologia leva a um aumento da razão do valor de saída, com o valor de entrada correspondente. Esses autores utilizam um modelo analítico teórico para uma empresa monopolista de único produto ou serviço, que otimiza seus lucros ajustando qualidade e preço. Estes autores examinam o impacto dos investimentos em TI sobre as várias medidas de desempenho e demonstram que os resultados dependem da tecnologia utilizada (para aumento da eficiência da produção, para melhoria da qualidade do produto ou para aumento da produtividade e do lucro).

Estudos realizados nos últimos 10 anos, tanto no setor de manufatura quanto no setor de serviços, que utilizam diferentes métodos de pesquisa, são encontrados na literatura. O Quadro 2.1 mostra alguns estudos realizados na última década, explicitando a ferramenta de pesquisa e suas descobertas.

Algumas pesquisas mais recentes, publicadas nos últimos cinco anos, consideram que os resultados, nem sempre esclarecedores, da evidência de que a TI trouxe qualquer aumento de produtividade, justificam-se por alguns aspectos importantes, nem sempre incorporados nas várias pesquisas realizadas. Estes aspectos são então incluídos em novos estudos, objetivando trazer uma contribuição significativa à questão.

Neste sentido, Teo, Wong & Chia (2000), consideram que a maioria das pesquisas não distingue as diferentes tecnologias, com respeito a impactos no desempenho das empresas. Eles assumem que esta homogeneidade pode gerar falsos resultados, já que diferentes sistemas (tecnologias) existem para diferentes objetivos organizacionais. Assim,

propõem um estudo exploratório para investigar a relação entre investimentos de TI e os objetivos da empresa em termos de suporte operacional, suporte estratégico e TI como parte integrante do processo de formulação da estratégia.

Quadro 2.1 – Estudos sobre o impacto de TI na produtividade organizacional, realizados na última década.

Estudo	Método de pesquisa	Descobertas
Loveman (1994)	Análise de regressão	Produtividade: ↔
Lichtenberg (1995)	Análise de regressão	Produtividade: ↑
Barua et al (1995)	Análise de regressão	Impactos significantes positivos no nível intermediário da organização.
Hitt & Brynjolfsson (1996)	Mínimos quadrados ordinários	TI e produtividade: ↑ TI e valor para o consumidor: ↑
Prasad & Harker (1997)	Regressão mínimos quadrados ordinários em dois steps.	Mão de obra de TI e produtividade: ↑ Capital em IT e produtividade: ↔ ou ↓
Ko & Osei-Bryson (2004)	Multivariate adaptative regression splines (MARS)	TI e produtividade: ↑, mas não uniforme e dependente de outros fatores complementares não relacionados a TI.

Fonte: Adaptado de Ko, M. et al (2004), p. 46.

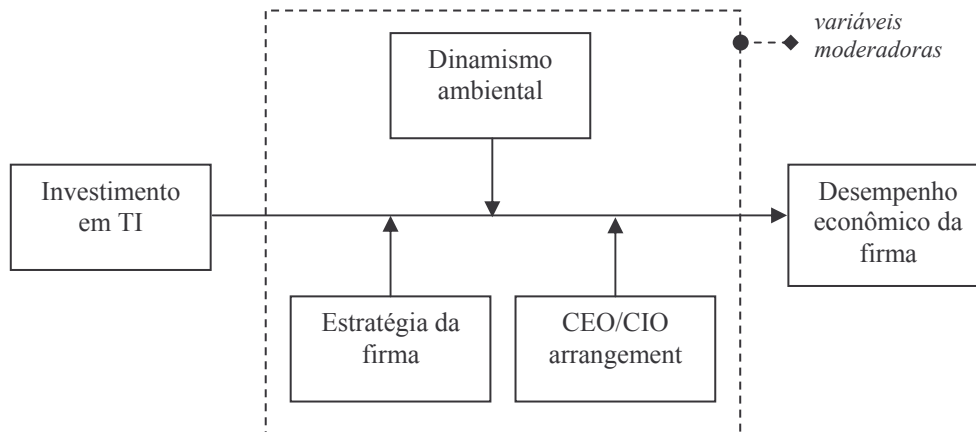
Li & Ye (1999) propuseram e aplicaram um modelo paramétrico, Figura 2.2, que incorpora os contextos ambiental, estratégico e gerencial em 216 firmas, dentre as maiores corporações da indústria americana. O estudo aplicou o Modelo de Regressão e estudou os efeitos moderadores do dinamismo ambiental, da estratégia da firma e da forma de organização estabelecida para o CEO e o CIO⁴, no impacto de investimentos de TI na performance da firma.

Resultados estatísticos significativos encontrados evidenciaram um impacto moderado de investimentos em TI sobre a performance financeira, quando há grandes mudanças ambientais, quando a estratégia adotada pela organização é pró-ativa e quando há maior proximidade entre o CIO e CEO.

⁴ CEO – Chief Executive Officer; CIO – Chief Information Officer.

Outros autores mostram uma nova perspectiva de pesquisa, em contribuição à vasta gama de trabalhos publicados nos últimos 20 anos sobre o tema, acrescentando aspectos ainda pouco estudados do impacto de TI, no desempenho das organizações em diversas estruturas de competição.

Figura 2.2 – Modelo conceitual do relacionamento de TI com a performance



Fonte: Adaptado de Li & Ye (1999).

O trabalho de Barua et al (1991) apresenta um modelo analítico para análise econômica de investimentos em TI, com foco em uma estrutura de mercado de duopólio, em que uma firma é mais eficiente que a concorrente, na redução de custos por investimentos em TI, para um mesmo nível de qualidade de serviços oferecido aos consumidores. A análise destes autores considera (i) a qualidade relacionada a TI em uma competição de duopólio, onde os serviços podem não ser inicialmente precificados (setor financeiro) e em que os benefícios podem ser indiretos; (ii) que ambas as firmas têm oportunidade de melhorar a qualidade de seus serviços por meio de investimentos em TI; (iii) o impacto da eficiência de TI (introduzida na função custo) e os incentivos da liderança e do seguidor do duopólio; (iv) que as duas firmas têm acesso à mesma tecnologia, mas não são igualmente eficientes no uso desta, para propósitos estratégicos; (v) que a melhoria da qualidade do produto/serviço é devida a investimentos em TI. Os resultados mostram que as firmas devem investir em TI, indiferentemente da sua estrutura de custos, em resposta a uma decisão de investimento do competidor.

Os resultados demonstram ainda que firmas que investem em tecnologias com o objetivo de aumentar a eficiência da produção têm aumento no lucro. Entretanto, o impacto desses investimentos na qualidade e preço do produto, nos custos de produção e no lucro e na produtividade depende da tecnologia implementada. Mais especificamente, investimentos em tecnologia que reduzem o custo fixo da firma, não afetam sua decisão quanto à qualidade e ao preço, mas aumentam sua produtividade. Investimentos em tecnologia que aumentam a eficiência da produção, pela redução de custos com o projeto e o desenvolvimento do produto, possibilitam à firma oferecer um melhor nível de qualidade do produto e decidir por um preço maior do que antes do investimento. Os autores ainda concluem que, embora estes ajustes no nível de qualidade e no preço estimulem a demanda e permitam que a firma obtenha maiores lucros, os custos totais de produção aumentam e, dentro de uma faixa de condições, a produtividade da firma diminui. Mais especificamente, os resultados mostram que o impacto na produtividade depende da relação entre os custos fixos e o tamanho do mercado.

O estudo de Quan et al (2003) amplia ambos os trabalhos de Thatcher & Oliver (2001) e Barua et al (1991) quando propõe um modelo de duopólio em competição de preço e qualidade, para estudar o efeito das forças de um mercado competitivo na contribuição de investimentos de TI, no desempenho e produtividade das firmas. Os autores fazem uma comparação com os resultados obtidos por Thatcher & Oliver (2001) no mercado monopolista. Os autores concluem ainda que, em mercados de *commodities*, as contribuições de investimentos de TI são usualmente intensificadas, enquanto que em mercados onde a qualidade de produtos e serviços é um fator decisivo na decisão de compra do consumidor, o impacto dos investimentos de TI é menor. Os resultados do trabalho mostram que a extensão dos benefícios de investimentos em TI, na maximização do lucro da firma, é função da sensibilidade do mercado ao preço e à qualidade dos produtos e serviços oferecidos pela firma e pelo seu competidor. Também, os resultados mostram que, em uma competição de duopólio, os efeitos dos investimentos em TI não são tão determinísticos como em uma competição de monopólio. Os autores observam que a sensibilidade do mercado ao preço tem um efeito positivo no impacto de investimentos em TI na produtividade da firma e a sensibilidade à qualidade tem um efeito negativo. Ou seja, as firmas respondem com melhor eficiência a um investimento em TI, se o mercado no qual operam é mais sensíveis ao preço do que à qualidade.

2.3. Mercados imperfeitamente competitivos

Em um oligopólio, as firmas se utilizam de várias estratégias de competição. O modelo de Cournot leva em consideração a definição do nível de produção. Outra variável considerada como relevante é o preço escolhido pelas firmas. Esta escolha é conhecida como o Modelo de Oligopólio de Bertrand (Varian, 1992). Em muitos setores oligopolistas, freqüentemente os produtos apresentam algum grau de diferenciação no *design*, desempenho e durabilidade do produto, ou seja, níveis de qualidade diferenciados. Quando existe uma diferenciação do produto, é natural que as empresas concorram por meio de preços, em vez de níveis de produção (Pindyck, 2002).

Em um mercado oligopolista, uma firma determina seu preço ou seu volume de produção, com base em considerações estratégicas relativa ao comportamento de seus concorrentes, ao mesmo tempo, a decisão dos concorrentes depende da decisão da firma. Dá-se o nome de equilíbrio de Nash ao conjunto de estratégias ou ações em que cada empresa faz o melhor que pode, em função daquilo que seus concorrentes estão fazendo. Cada duopolista tem uma função de reação e o equilíbrio de Nash é obtido através da interação dessas funções de reação.

A curva de reação do duopolista i apresenta o preço que maximiza seus lucros em função do preço do duopolista j . O equilíbrio de Nash é encontrado no ponto de intersecção entre as duas curvas de reação.

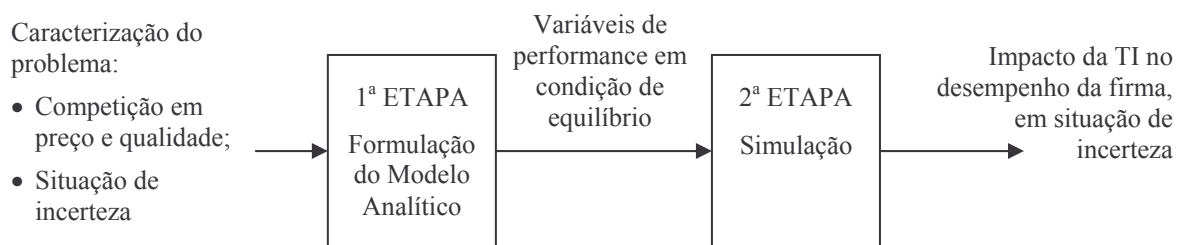
A *função de reação*⁵ do duopolista i é uma relação entre P_i e P_j com característica de que, para cada valor específico de P_j , a *função de reação* do duopolista j dá o valor de P_j , que maximiza π_j , para qualquer valor específico de P_i . Com a incorporação da qualidade para ambas as firmas como elemento de concorrência, um par de valores de P_i e P_j e Q_i e Q_j que satisfaça ambas as funções de reação é uma solução de equilíbrio.

⁵ *Função de reação ou curva de reação é a relação entre a quantidade de produção que maximiza os lucros de uma empresa e a quantidade que ela imagina que seus concorrentes produzirão. A quantidade de produção da firma 1 que maximiza os lucros é uma projeção decrescente de quanto ela acredita que a firma 2 produzirá (Pindyck, 2002)*

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

Esta pesquisa foi delineada em duas etapas: a primeira teve como objetivo a construção do modelo analítico para avaliação do impacto de investimentos em TI no desempenho organizacional de firmas operando em uma estrutura de mercado de duopólio, em situação de incerteza; a segunda teve o objetivo de simular o modelo. A figura 3.1 mostra uma esquematização da metodologia empregada.

Figura 3.1 – Esquematização da metodologia de pesquisa



Fonte: Elaboração própria

Caracterizado o problema, a primeira etapa da metodologia, formulação do Modelo Analítico, foi construída seguindo-se os passos delineados abaixo:

1. Determinação das funções econômicas de demanda, custo e lucro esperado, em situação de incerteza;

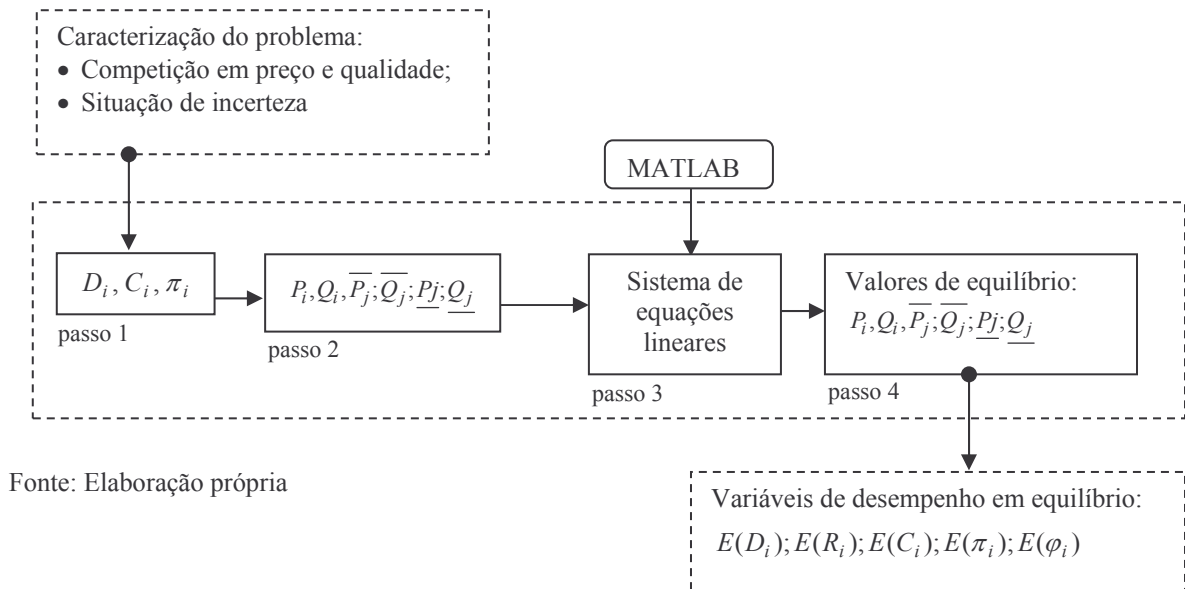
2. Cálculo algébrico do preço e qualidade da firma e do preço e qualidade de seu competidor, operando com custos altos ou baixos, em função da crença da firma;

3. Definição do sistema de equações lineares e cálculo dos valores de equilíbrio para o preço e qualidade da firma e, para o preço e qualidade de seu competidor, operando com custos altos ou baixos, em função da crença da firma. Esta construção foi obtida com a ajuda do software estatístico MATLAB;

4. Cálculo dos valores de equilíbrio para a demanda, receita, custo, lucro e produtividade esperados, em equilíbrio de Nash, incorporando a incerteza.

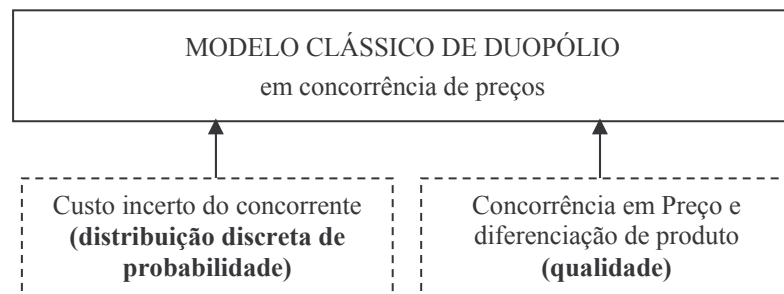
A Figura 3.2 apresenta um detalhamento da formulação do Modelo Analítico (primeira etapa).

Figura 3.2 – 1ª Etapa: Formulação do Modelo Analítico



Este Modelo teve como referência o modelo clássico de duopólio, ao qual foram incorporadas diferenciação do produto e distribuição discreta de probabilidade, conforme ilustrado na Figura 3.3.

Figura 3.3- Modelo Analítico com distribuição de probabilidade discreta de custos e diferenciação de produto

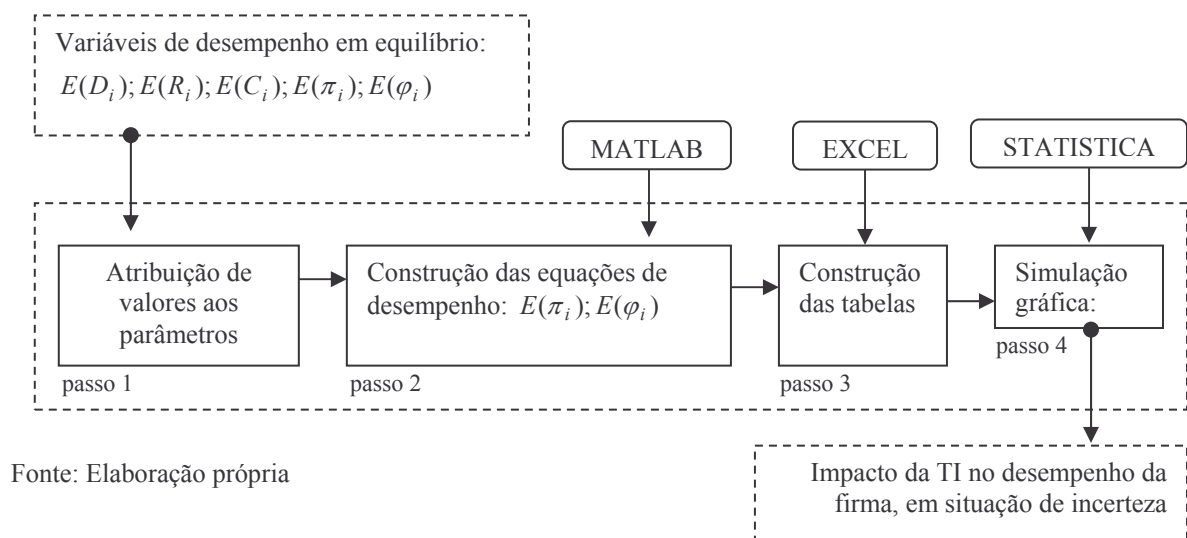


Fonte: Elaboração própria

Determinadas as variáveis de desempenho em equilíbrio, a segunda etapa da metodologia, Simulação, foi construída conforme ilustrado na Figura 3.4, seguindo os passos descritos a seguir.

1. Atribuição de valores aos parâmetros fixos. Estes valores foram os mesmos utilizados por QUAN et al (2003) para fins de comparação⁶;
2. Construção das equações de desempenho, em equilíbrio, no software estatístico MATLAB, em função dos parâmetros com valores atribuídos e das variáveis necessárias à simulação;
3. Construção das tabelas, no software EXCEL, atribuindo-se valores às variáveis para a simulação gráfica;
4. Simulação gráfica, no software STATISTICA, e análise dos resultados.

Figura 3.4 – 2ª Etapa: Simulação



⁶ Estes valores são especificados e utilizados nas simulações apresentadas no capítulo 5 - Análise do Modelo.

4. FORMULAÇÃO DO MODELO ANALÍTICO COM INCERTEZA DE CUSTOS

Em um duopólio com concorrência em preços, com produtos diferenciados e em um ambiente de incerteza quanto aos custos do seu concorrente, a demanda é linear e conhecida pelos duopolistas. Os custos de ambos só são conhecidos por um dos duopolistas. O segundo duopolista só conhece os custos dele próprio e faz suposições sobre os custos do outro. Uma firma (duopolista i) precisa tomar decisões quanto ao seu preço e qualidade, de forma a maximizar seus lucros, considerando as seguintes suposições, em relação ao seu concorrente (duopolista j):

- Supor *alto* o custo do duopolista j , $\overline{C_j}$, com probabilidade ρ , em relação ao custo C_i do duopolista i ou ao que este supõe ser alto para o duopolista j , onde ρ assume valores **discretos**;
- Supor *baixo* o custo do duopolista j , $\underline{C_j}$, com probabilidade $1-\rho$, em relação ao custo C_i do duopolista i ou ao que este supõe ser baixo para o duopolista j ;

Baseado na suposição explicitada acima, são descritas, nos subitens que se seguem, as funções demanda, custo e lucro esperado.

4.1. Função Demanda

Presumindo que as empresas duopolistas i e j competem no mesmo mercado e têm a oportunidade de melhorar a qualidade e ou ajustar o preço do seu produto e tomam decisões, escolhendo simultaneamente seus preços com base em considerações estratégicas relativas ao comportamento de seu concorrente, e que para a firma i existe incerteza sobre os custos do seu concorrente, tem-se que a demanda do mercado pelo produto ou serviço da firma i é:

$$\overline{D_i} = a - b(P_i - \lambda \overline{P_j}) + c(Q_i - \theta \overline{Q_j}) \quad [4.1]$$

$$\text{ou} \quad \underline{D_i} = a - b(P_i - \lambda \underline{P_j}) + c(Q_i - \theta \underline{Q_j}) \quad [4.2]$$

Onde P_i e Q_i são o preço e a qualidade do produto ou serviço da firma i ⁷. O preço e a qualidade do produto ou serviço da firma j poderá ser $\overline{P_j}$ e $\overline{Q_j}$ ou $\underline{P_j}$ e $\underline{Q_j}$ dependendo da suposição feita pela firma i em relação aos custos da firma j .

Os parâmetros $a, b, c > 0$ podem ser determinados empiricamente para cada indústria. O parâmetro a representa o tamanho do mercado das firmas; b mede a *sensibilidade da demanda ao preço* determinado pela firma e c mede a *sensibilidade da demanda à qualidade* do produto oferecido ao mercado.

Os parâmetros λ e θ , com $0 < \lambda < 1$ e $0 < \theta < 1$, são as sensibilidades do mercado ao preço e qualidade, respectivamente. Para a firma, como os consumidores não são homogêneos em suas preferências, λ e θ suavizam o impacto causado pelas mudanças no preço e na qualidade do produto do competidor. Quanto maior λ , mais fortemente a demanda do produto i é positivamente afetada pela mudança do preço do competidor. Quanto maior θ , mais fortemente a demanda do produto i é negativamente afetada pela melhoria da qualidade do produto do competidor.

Como a quantidade demandada pelos consumidores de um determinado produto depende do preço e da qualidade, se a firma diminui o seu preço ou aumenta a qualidade do seu produto, a demanda por este aumenta. Por outro lado, se o concorrente diminui o seu preço ou aumenta a qualidade do seu produto, a demanda pelo produto da firma diminui.

⁷ Aqui, a demanda é especificada em função do preço e da qualidade. Esta função tem sido utilizada na literatura sobre TI por Barua et al (1991), Thatcher & Oliver (2001), Quan et al (2003) e Thatcher (2004).

4.2. Função Custo

A análise da decisão relativa ao preço capaz de maximizar lucros para qualquer firma que esteja operando em um mercado competitivo ou que seja capaz de influenciar o preço de mercado, leva em consideração informações de produção⁸ e da estrutura de custo da firma concorrente.

É importante a compreensão das características dos custos de produção, a identificação de quais custos são fixos e quais são variáveis. As dimensões relativas desses diferentes componentes de custo podem variar consideravelmente de um setor para outro.

A firma possui vários componentes de custos e pode investir em diferentes tipos de tecnologia para aumentar a eficiência da produção e melhorar a qualidade do produto, objetivando ganhos de lucros e produtividade com estes investimentos. O custo total da firma, considerando como elemento determinante aquele proporcionado por investimentos em Tecnologia da Informação que resultam em maior qualidade do seu produto ou serviço, pode ser representado por:

$$C_i = F_i + fQ_i^2 + eQ_iD_i$$

Onde $f, e > 0$ são parâmetros que caracterizam a capacidade de produção da firma e $F_i > 0$ representa o custo fixo⁹ associado à operacionalização do negócio ou custo indireto de produção.

Neste custo incluem-se os custos de adquirir, implementar e manter tecnologias de informação (*hardware, software*, processos e metodologias) que não dependem da qualidade ou da quantidade de produtos manufaturados pela firma, mas que são essenciais para suportar

⁸ Como explicitado anteriormente, nesta pesquisa não foi considerada a concorrência por meio da determinação do nível de produção e sim da definição de preços.

⁹ Custos que permanecem inalterados independentemente do volume de produção da empresa. Exemplos de Custo Fixo: gastos com a manutenção da fábrica, seguro, salários e encargos de um número mínimo de funcionários, despesas associadas ao espaço ocupado pelos escritórios, gastos com energia.

ou manter o negócio da firma. Q_i é o nível do atributo de qualidade da firma i . Os termos fQ_i^2 e eQ_iD_i representam o custo variável¹⁰ ou custos diretos de produção.

O segundo termo da função custo, fQ_i^2 , representa o custo de melhorar a qualidade do produto por meio de investimentos em TI, em custos com pesquisa, projeto, prototipação, desenvolvimento e testes, e seu comportamento, definido pelo expoente, depende do atributo que está sendo considerado. Por exemplo, se o atributo é o “número de estações de trabalho”¹¹ a necessidade advinda do aumento deste número pode representar um custo linear (pelo menos para uma determinada faixa). Entretanto, se o “tempo de resposta” é o atributo considerado, uma função convexa do tipo $f_iQ_i^\beta, \beta > 1$, pode ser uma melhor escolha para a função custo. Ou seja, é o custo decorrente da escolha de uma combinação de atributos que define a qualidade especificada de um produto e que atende aos requisitos do consumidor, tais como: característica, desempenho, confiabilidade, rapidez de resposta, variedade e suporte, qualidade essa propiciada pela tecnologia da informação. Aqui, assume-se este componente de custo como uma função quadrática, pois é factível atribuir um custo bastante maior quanto melhor for a qualidade do produto¹².

Baseado no que explicita o mercado especializado em tecnologia da informação, pode-se considerar que investimentos em software de automação de escritório e sistemas integrados de gestão (ERP¹³), proporcionam uma diminuição dos custos fixos. Já, investimentos em ferramentas CASE/CAD/CAE/CAM¹⁴, têm como consequência a diminuição do coeficiente de capacidade de produção f , com conseqüente diminuição do custo variável: fQ_i^2 . Investimentos em aplicações B2B e B2C¹⁵ possibilitam uma diminuição do coeficiente de capacidade de produção e com conseqüente diminuição do custo variável eQ_iD_i . Investimentos em ferramentas para avaliação de desempenho de infraestrutura e

¹⁰ Custos que variam quando o nível da produção varia, como por exemplo, gastos com salários e matérias-primas.

¹¹ Uma estação de trabalho compreende um microcomputador e seus periféricos, como: monitor, impressora, teclado, entre outros.

¹² Diversos autores utilizam a função quadrática na análise do impacto da Tecnologia da Informação no desempenho econômico de firmas: Barua & Mukhopadhyay (1991), Quan et al (2003), Thatcher (2004), Thatcher & Oliver (2001), Thatcher & Pingry (2004).

¹³ Enterprise Resource Planning

¹⁴ CASE: Computer Aided Software Engineering; CAD: Computer Aided Design; CAE: Computer Aided Engineer; CAM: Computer Aided Manufacturing.

¹⁵ Business to Business, Business to Consumer.

aplicações promovem uma diminuição do coeficiente de capacidade de produção f , com conseqüente diminuição do custo variável fQ_i^2 .

Segundo Barua et al (1991) e Thatcher & Oliver (2001) a forma quadrática para a função custo é comum na literatura de Organização Industrial. Uma função convexa dada por $f_i Q_i^\beta$, $\beta > 1$ poderia ser uma forma mais genérica, entretanto resultaria em uma álgebra complexa desnecessária. Segundo Barua et al (1991), a forma adequada da função custo é uma questão empírica e depende do atributo considerado. Com o objetivo de simplificar o modelo analítico a ser desenvolvido, a forma quadrática é considerada nesta pesquisa como uma *proxy* da função custo para qualquer atributo relacionado à qualidade do produto.

A parcela de custo variável $eQ_i D_i$ pode ser atribuída a maiores níveis de atividades de manutenção ou um trabalho mais especializado que possa ser necessário para aumentar o nível de qualidade. Por exemplo, aumentar a funcionalidade de cartões de crédito pode exigir mais processamento por consumidor.

Para aumentar a eficiência, uma firma pode direcionar seus investimentos em TI para cada um dos termos da função custo ou para uma combinação deles, com o objetivo de, entre outros, reduzir seu custo total. A questão que se apresenta é que, se o efeito provável deste direcionamento se verifica, qual o impacto nas empresas que estão competindo? O modelo proposto nesta pesquisa tem o objetivo de responder a esta questão para uma estrutura de mercado de duopólio, com incerteza de custos. Nesta condição de incerteza, a função custo da firma i , quando está competindo com uma firma j de alto ou baixo custo respectivamente, pode ser representada por:

$$\overline{C}_i = F_i + fQ_i^2 + eQ_i \overline{D}_i \quad [4.3]$$

$$\text{ou} \quad \underline{C}_i = F_i + fQ_i^2 + eQ_i \underline{D}_i \quad [4.4]$$

4.3. Função Lucro Esperado

No caso do duopolista i , de acordo com a suposição que fizer para os custos do duopolista j , seu lucro associado poderá ser $\overline{\pi_i}$, com probabilidade ρ , ou $\underline{\pi_i}$, com probabilidade $1-\rho$. Portanto, tem-se para a firma i um lucro esperado dado por:

$$E\pi_i = \rho\overline{\pi_i} + (1-\rho)\underline{\pi_i} \quad [4.5]$$

O lucro π de cada firma corresponde à diferença entre a receita total (que é o preço multiplicado pela demanda) e o custo total:

$$\overline{\pi_i} = \overline{R_i} - \overline{C_i}$$

$$\underline{\pi_i} = \underline{R_i} - \underline{C_i}$$

Portanto:

$$\overline{\pi_i} = P_i \left[a - bP_i + b\lambda\overline{P_j} + cQ_i - c\theta\overline{Q_j} \right] - \left[F_i + fQ_i^2 + eQ_i \left(a - bP_i + b\lambda\overline{P_j} + cQ_i - c\theta\overline{Q_j} \right) \right] \quad [4.6]$$

$$\text{ou seja: } \overline{\pi_i} = P_i \left[\overline{I} - bP_i + cQ_i \right] - \left[F_i + fQ_i^2 + eQ_i \left(\overline{I} - bP_i + cQ_i \right) \right] \quad [4.7]$$

$$\text{Onde } \overline{I} = a + b\lambda\overline{P_j} - c\theta\overline{Q_j} \quad [4.8]$$

Da mesma forma:

$$\underline{\pi_i} = P_i \left[a - bP_i + b\lambda\underline{P_j} + cQ_i - c\theta\underline{Q_j} \right] - \left[F_i + fQ_i^2 + eQ_i \left(a - bP_i + b\lambda\underline{P_j} + cQ_i - c\theta\underline{Q_j} \right) \right] \quad [4.9]$$

$$\text{ou seja: } \underline{\pi_i} = P_i \left[\underline{I} - bP_i + cQ_i \right] - \left[F_i + fQ_i^2 + eQ_i \left(\underline{I} - bP_i + cQ_i \right) \right] \quad [4.10]$$

$$\text{Onde } \underline{I} = a + b\lambda\underline{P_j} - c\theta\underline{Q_j} \quad [4.11]$$

$\overline{I}$ e $\underline{I}$ é o tamanho do mercado da firma i , considerando a concorrência com uma firma de custos altos ou baixos, respectivamente.

Assim, substituindo [4.10] e [4.11] em [4.5], tem-se para o valor esperado do lucro da firma i :

$$E\pi_i = [\rho\bar{I} + (1 - \rho)\underline{I}](P_i - eQ_i) - bP_i^2 + (c + eb)Q_iP_i - (f + ec)Q_i^2 - F_i$$

4.4. Cálculo dos valores de equilíbrio

Para poder maximizar lucros, a empresa opta pelo preço para o qual a diferença entre receita e custo seja máxima. O lucro π é maximizado no ponto em que um incremento adicional no preço ou na qualidade não aumenta o lucro. Portanto, a otimização do lucro esperado¹⁶ da firma i em função de preço e da qualidade do seu produto ou serviço é dada por:

$$\frac{\partial E\pi_i}{\partial P_i} = 0; \quad \frac{\partial E\pi_i}{\partial Q_i} = 0$$

Os seguintes valores são obtidos:

$$P_i = \frac{[\rho\bar{I} + (1 - \rho)\underline{I}][e(c - eb) + 2f]}{4bf - (c - eb)^2} \quad [4.12]$$

$$Q_i = \frac{[\rho\bar{I} + (1 - \rho)\underline{I}](c - eb)}{4bf - (c - eb)^2} \quad [4.13]$$

Para a firma j , a demanda do mercado pelo seu produto ou serviço pode ser representada por:

$$\overline{D_j} = a - b(\overline{P_j} - \lambda P_i) + c(\overline{Q_j} - \theta Q_i) \quad [4.14]$$

$$\text{ou } \underline{D_j} = a - b(\underline{P_j} - \lambda P_i) + c(\underline{Q_j} - \theta Q_i) \quad [4.15]$$

Para a firma j , não há incertezas. Ela conhece seus custos, que são altos ou baixos, dependendo do investimento em uma tecnologia que proporcione determinado aumento no nível de qualidade de seu produto ou serviço. Assim, a demanda e o custo da firma j podem ser escritos como:

¹⁶ Esta função é estritamente côncava em P_i e Q_i , portanto ela admite solução e a solução é única.

$$\overline{D_j} = a - b(\overline{P_j} - \lambda P_i) + c(\overline{Q_j} - \theta Q_i) \quad [4.16]$$

$$\text{ou } \underline{D_j} = a - b(\underline{P_j} - \lambda P_i) + c(\underline{Q_j} - \theta Q_i) \quad [4.17]$$

$$\overline{C_j} = F_j + \overline{f} \overline{Q_j}^2 + \overline{e} \overline{Q_j} \overline{D_j} \quad [4.18]$$

$$\text{ou } \underline{C_j} = F_j + \underline{f} \underline{Q_j}^2 + \underline{e} \underline{Q_j} \underline{D_j} \quad [4.19]$$

Onde $\overline{f}$ e $\overline{e}$ são obtidos em consequência de um maior investimento em tecnologia de informação e $\underline{f}$ e $\underline{e}$ são obtidos em consequência de um menor investimento, que se traduzem em um aumento maior ou menor do nível de qualidade do produto ou serviço da firma j ¹⁷. Portanto, o lucro da firma j pode ser representado por:

$$\overline{\pi_j} = \overline{P_j} \left[a - b\overline{P_j} + b\lambda P_i + c\overline{Q_j} - c\theta Q_i \right] - \left[F_j + \overline{f} \overline{Q_j}^2 + \overline{e} \overline{Q_j} (a - b\overline{P_j} + b\lambda P_i + c\overline{Q_j} - c\theta Q_i) \right]$$

$$\text{ou seja: } \overline{\pi_j} = \overline{P_j} \left[J - b\overline{P_j} + c\overline{Q_j} \right] - \left[F_j + \overline{f} \overline{Q_j}^2 + \overline{e} \overline{Q_j} (J - b\overline{P_j} + c\overline{Q_j}) \right] \quad [4.20]$$

Da mesma forma:

$$\underline{\pi_j} = \underline{P_j} \left[a - b\underline{P_j} + b\lambda P_i + c\underline{Q_j} - c\theta Q_i \right] - \left[F_j + \underline{f} \underline{Q_j}^2 + \underline{e} \underline{Q_j} (a - b\underline{P_j} + b\lambda P_i + c\underline{Q_j} - c\theta Q_i) \right]$$

$$\text{ou seja: } \underline{\pi_j} = \underline{P_j} \left[J - b\underline{P_j} + c\underline{Q_j} \right] - \left[F_j + \underline{f} \underline{Q_j}^2 + \underline{e} \underline{Q_j} (J - b\underline{P_j} + c\underline{Q_j}) \right] \quad [4.21]$$

$$\text{onde } J = a + b\lambda P_i - c\theta Q_i \quad [4.22]$$

A otimização do lucro da firma j em função de preço e da qualidade do seu produto ou serviço é dada por:

¹⁷ Nesta etapa buscou-se uma simplificação que representasse a obtenção de um custo alto ou baixo, agregando-se variáveis que pudessem representar um custo alto h , ou baixo, na função custo, em substituição a $\overline{f}, \underline{f}, \overline{e}, \underline{e}$, como por exemplo, $C_i = (F_i + fQ_i^2 + eQ_i D_i) * h$ ou mesmo $C_i = F_i + (fQ_i^2 + eQ_i D_i) * h$, que não se mostrou possível pois o valor encontrado para a equação [4.23] foi: $\overline{P_j} = \frac{J[\overline{h}\overline{e}(c - b\overline{h}\overline{e}) + 2\overline{h}\overline{f}]}{4b\overline{h}\overline{f} - (c - b\overline{h}\overline{e})^2}$.

$$\frac{\partial \overline{\pi_j}}{\partial \overline{P_j}} = 0; \quad \frac{\partial \overline{\pi_j}}{\partial \overline{Q_j}} = 0$$

$$\frac{\partial \underline{\pi_j}}{\partial \underline{P_j}} = 0; \quad \frac{\partial \underline{\pi_j}}{\partial \underline{Q_j}} = 0$$

Os seguintes valores são obtidos:

$$\overline{P_j} = \frac{J[\underline{e}(c - b\underline{e}) + 2\underline{f}]}{4b\underline{f} - (c - b\underline{e})^2} \quad [4.23]$$

$$\overline{Q_j} = \frac{J(c - b\underline{e})}{4b\underline{f} - (c - b\underline{e})^2} \quad [4.24]$$

$$\underline{P_j} = \frac{J[\underline{e}(c - b\underline{e}) + 2\underline{f}]}{4b\underline{f} - (c - b\underline{e})^2} \quad [4.25]$$

$$\underline{Q_j} = \frac{J(c - b\underline{e})}{4b\underline{f} - (c - b\underline{e})^2} \quad [4.26]$$

Substituindo [4.9] e [4.11] em [4.12] e [4.13] e, substituindo [4.22] em [4.23], [4.24], [4.25] e [4.26], obtém-se o seguinte sistema algébrico de equações lineares, a seguir:

$\frac{1}{m}P_i$	$-\rho b\lambda \overline{P_j}$	$-(1-\rho)b\lambda \underline{P_j}$	$+ \rho c\theta \overline{Q_j}$	$+ (1-\rho)c\theta \underline{Q_j}$	$= a$
$-b\lambda P_i$	$+\frac{1}{m}\overline{P_j}$		$+ c\theta Q_i$		$= a$
$-b\lambda P_i$		$+\frac{1}{m}\underline{P_j}$	$+ c\theta Q_i$		$= a$
	$-\rho b\lambda \overline{P_j}$	$-(1-\rho)b\lambda \underline{P_j}$	$+\frac{1}{k}Q_i$	$+ \rho c\theta \overline{Q_j}$	$+ (1-\rho)c\theta \underline{Q_j} = a$
$-b\lambda P_i$			$+ c\theta Q_i$	$+\frac{1}{k}\overline{Q_j}$	$= a$
$-b\lambda P_i$			$+ c\theta Q_i$	$+\frac{1}{k}\underline{Q_j}$	$= a$

onde

$$\begin{aligned}
m &= \frac{[e(c - eb) + 2f]}{4bf - (c - eb)^2}; & \bar{m} &= \frac{[\bar{e}(\bar{c} - \bar{e}\bar{b}) + 2\bar{f}]}{4b\bar{f} - (\bar{c} - \bar{e}\bar{b})^2}; & \underline{m} &= \frac{[\underline{e}(\underline{c} - \underline{e}\underline{b}) + 2\underline{f}]}{4b\underline{f} - (\underline{c} - \underline{e}\underline{b})^2} \\
k &= \frac{(c - eb)}{4bf - (c - eb)^2}; & \bar{k} &= \frac{(\bar{c} - \bar{e}\bar{b})}{4b\bar{f} - (\bar{c} - \bar{e}\bar{b})^2}; & \underline{k} &= \frac{(\underline{c} - \underline{e}\underline{b})}{4b\underline{f} - (\underline{c} - \underline{e}\underline{b})^2}
\end{aligned}$$

Resolvendo o sistema de equações lineares, obtêm-se os seguintes valores:

$$P_i = \frac{am[1 + (\rho\bar{m} + (1 - \rho)\underline{m})b\lambda - (\rho\bar{k} + (1 - \rho)\underline{k})c\theta]}{\Delta} \quad [4.27]$$

$$Q_i = \frac{ak[1 + b\lambda(\rho\bar{m} + (1 - \rho)\underline{m}) - c\theta(\rho\bar{k} + (1 - \rho)\underline{k})]}{\Delta} \quad [4.28]$$

$$\overline{P_j} = \frac{a\bar{m}(1 + b\lambda m - c\theta k)}{\Delta} \quad [4.29]$$

$$\overline{Q_j} = \frac{a\bar{k}[1 + b\lambda m - c\theta k]}{\Delta} \quad [4.30]$$

$$\underline{P_j} = \frac{a\underline{m}(1 + b\lambda m + c\theta k)}{\Delta} \quad [4.31]$$

$$\underline{Q_j} = \frac{a\underline{k}[1 + b\lambda m - c\theta k]}{\Delta} \quad [4.32]$$

Onde:

$$\Delta = 1 - [\rho\bar{m} + (1 - \rho)\underline{m}][b^2\lambda^2 m - b\lambda kc\theta] + [\rho\bar{k} + (1 - \rho)\underline{k}][c\theta mb\lambda - c^2\theta^2 k]$$

ou, $\Delta = 1 - Mb\lambda(c\theta k - b\lambda m) - Wc\theta(c\theta k - b\lambda m)$

onde, $M = \rho\bar{m} + (1 - \rho)\underline{m}$

$$W = \rho\bar{k} + (1 - \rho)\underline{k}$$

Reescrevendo as equações [4.27] e [4.28] como:

$$P_i = \frac{m}{\bar{m}} X \overline{P_j}; \quad Q_i = \frac{k}{\underline{k}} X \underline{Q_j}$$

Onde:

$$X = \frac{1 + b\lambda M - c\theta W}{1 + b\lambda m - c\theta k}$$

É possível estabelecer um sistema de equações lineares, com 4 equações e 4 incógnitas:

$$\overline{P}_j, \underline{P}_j, \overline{Q}_j \text{ e } \underline{Q}_j :$$

$q^*X/\overline{m} - q^*b^*\lambda^*\rho$	$-q^*b^*\lambda^*(1-\rho)$	$+ q^*c^*\theta^*\rho$	$+ q^*c^*\theta^*(1-\rho) = q^*a$
$-p^*b^*\lambda^*\rho + q^*X/\underline{m} - q^*b^*\lambda^*(1-\rho)$		$+ q^*c^*\theta^*\rho$	$+ p^*c^*\theta^*(1-\rho) = p^*a$
$-p^*b^*\lambda^*\rho$	$-p^*b^*\lambda^*(1-\rho)$	$+ s^*X/\overline{k} + p^*c^*\theta^*\rho$	$+ p^*c^*\theta^*(1-\rho) = q^*a$
$-p^*b^*\lambda^*\rho$	$-p^*b^*\lambda^*(1-\rho)$	$+ p^*c^*\theta^*\rho + p^*X/\underline{k} + p^*c^*\theta^*(1-\rho)$	$= p^*a$

Onde:

$$\begin{aligned} q &= e(c - eb) + 2f ; & \overline{q} &= \overline{e}(c - \overline{e}b) + 2\overline{f} ; & \underline{q} &= \underline{e}(c - \underline{e}b) + 2\underline{f} \\ p &= c - eb ; & \overline{p} &= c - \overline{e}b ; & \underline{p} &= c - \underline{e}b \end{aligned}$$

Resolvendo as variáveis com o MATLAB, tem-se:

$$P_i = -\frac{am}{Z} X = -\frac{aq}{Z_1} X \quad [4.33]$$

$$Q_i = -\frac{ak}{Z} X = -\frac{ap}{Z_1} X \quad [4.34]$$

$$\overline{P}_j = -\frac{\overline{a}\overline{m}}{Z} = -\frac{\overline{a}\overline{q}}{Z_1} \quad [4.35]$$

$$\overline{Q}_j = -\frac{\overline{a}\overline{k}}{Z} = -\frac{\overline{a}\overline{p}}{Z_1} \quad [4.36]$$

$$\underline{P}_j = -\frac{\underline{a}\underline{m}}{Z} = -\frac{\underline{a}\underline{q}}{Z_1} \quad [4.37]$$

$$\underline{Q}_j = -\frac{\underline{a}\underline{k}}{Z} = -\frac{\underline{a}\underline{p}}{Z_1} \quad [4.38]$$

Onde:

$$Z = -X + b\lambda M - c\theta W$$

$$-Z_1 = 2bf\left(2X - \lambda \frac{M}{m}\right) - (c - eb)\left[c\left(X - \theta \frac{W}{k}\right) - be\left(X - \lambda \frac{M}{m}\right)\right]$$

O valor esperado da demanda, da receita e do custo da firma i é dado por:

$$E(D_i) = \rho \overline{D_i} + (1 - \rho) \underline{D_i} \quad [4.39]$$

$$E(R_i) = P_i E(D_i) \quad [4.40]$$

$$E(C_i) = F_i + fQ_i^2 + eQ_i E(D_i) \quad [4.41]$$

$$E(\pi_i) = E(R_i) - E(C_i) \quad [4.42]$$

$$E(\varphi_i) = \frac{E(R_i)}{E(C_i)} \quad [4.43]$$

Substituindo-se as equações [4.33], [4.34], [4.35], [4.36], [4.37] e [4.38] em [4.39], [4.40], [4.41], [4.42] e [4.43] tem-se os *valores esperados de equilíbrio* para a *demanda, custo, receita, lucro e produtividade* da firma i :

$$E(D_i) = \frac{2abf}{Z_1} X$$

$$E(C_i) = F_i + \frac{fa^2}{Z^2} (c^2 - b^2 e^2) X^2$$

$$E(R_i) = \frac{2a^2 bf [e(c - eb) + 2f]}{Z_1^2} X^2$$

$$E(\pi_i) = \frac{a^2 f [4bf - (c - eb)^2]}{Z_1^2} X^2 - F_i$$

$$E(\varphi_i) = \frac{2a^2 bf [e(c - eb) + 2f]}{\frac{Z_1^2}{X^2} F_i + a^2 f (c^2 - b^2 e^2)}$$

Com as condições de equilíbrio de mercado estabelecidas para uma firma operando em duopólio, em situação de incerteza quanto aos custos do concorrente, com sensibilidade ao

preço e à qualidade do produto deste, apresenta-se, no capítulo a seguir, a análise de quanto um investimento em TI, que diminua os custos variáveis da firma, afetam o seu desempenho.

5. ANÁLISE DO MODELO

No sentido de melhorar o desempenho, as firmas investem em TI com o objetivo de diminuir seus custos e aumentar a qualidade de seus produtos ou serviços. A diminuição dos custos pode se dar em qualquer das três parcelas do custo total, que são os custos fixos, os custos variáveis de desenvolvimento e projeto do produto e os custos variáveis relacionados à produção, distribuição e serviços. Entretanto, em uma estrutura de mercado de duopólio, os impactos dos investimentos em TI também são afetados pela interação entre os competidores e pelas características do mercado, quanto à sensibilidade deste ao preço e a qualidade. Nos itens que se seguem apresenta-se, inicialmente, a análise sobre o efeito dos investimentos de TI que objetivam reduzir cada um dos componentes de custo variáveis, numa condição de competição de preço e qualidade, com o mercado em equilíbrio e sobre condições de incerteza quanto aos custos do competidor. Ao final, é apresentado um resumo dos resultados encontrados, comparados aos resultados do estudo de Quan et al (2003).

As simulações do modelo foram realizadas no software MATLAB e em planilhas em EXCEL e os gráficos gerados no software STATISTICA. Na simulação foram atribuídos valores para os parâmetros do modelo analítico e variados (i) os parâmetros correspondentes à sensibilidade do mercado a preço e à qualidade do produto; (ii) os parâmetros que correspondem a uma diminuição do custo obtida por um investimento em Tecnologia da Informação; e (iii) o parâmetro correspondente à crença da firma em relação aos custos do competidor.

5.1. Impacto de investimentos em TI no Lucro

O objetivo deste item é o de investigar o efeito de investimentos em TI no *lucro* da firma, em um mercado competitivo em preço e qualidade, em situação de incerteza. Primeiro, é analisado o impacto proporcionado por investimentos em TI que objetivem reduzir os *custos de desenvolvimento e projeto do produto* (redução do parâmetro f) e, em seguida o impacto resultante de investimentos em TI que objetivem reduzir os *custos de produção e operação* (redução do parâmetro e).

5.1.1. Redução do parâmetro f

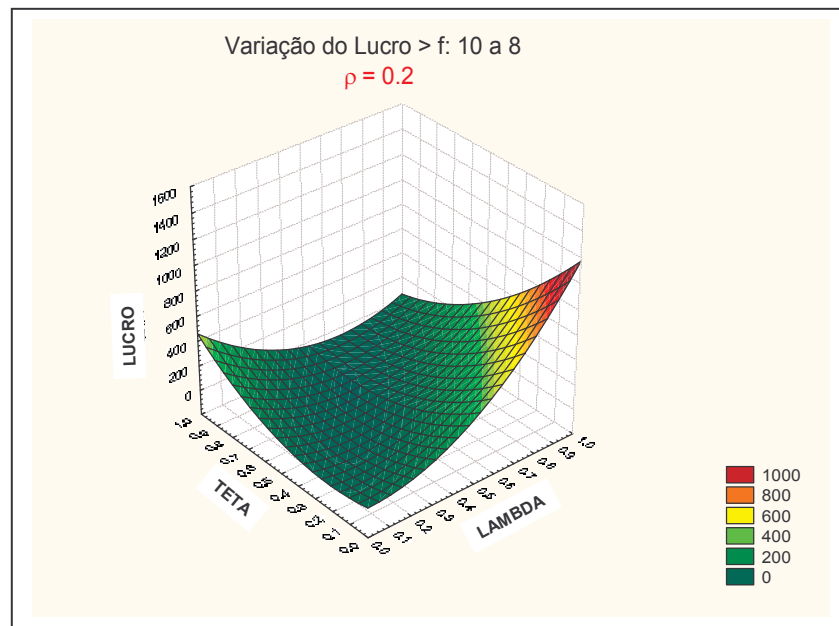
A análise econômica do impacto na lucratividade da firma quando investimentos em TI são feitos com o objetivo de reduzir os *custos com projeto e desenvolvimento do produto*, ou seja, aqui representado por uma diminuição no parâmetro f da função custo esperado, equação [4.14], é realizada pela verificação do comportamento do lucro esperado com a variação incremental de f . Ou seja, um decréscimo em f afeta o lucro esperado da firma conforme o sinal obtido pela derivada do lucro esperado em função do parâmetro f :

$$\frac{\partial E(\pi_i)}{\partial f} = \frac{\partial}{\partial f} \left[\frac{a^2 f [4bf - (c - eb)^2]}{Z_1^2} X^2 - F_i \right]$$

Pelo fato das equações algébricas alcançarem uma complexidade relativamente grande quando se incorpora a incerteza, o sinal da equação derivada não é facilmente identificável, impossibilitando uma análise mais detalhada. Portanto, uma simulação numérica foi realizada, para uma variação do parâmetro f de 10 a 8 e grau de certeza de 20%, 50% e 90% quanto aos custos do concorrente. Estes foram os mesmos valores utilizados por Quan et al (2003) o que possibilita comparar os resultados. Estes são mostrados nas Figuras 5.1, 5.2 e 5.3 e o detalhamento apresentado no Anexo 1.

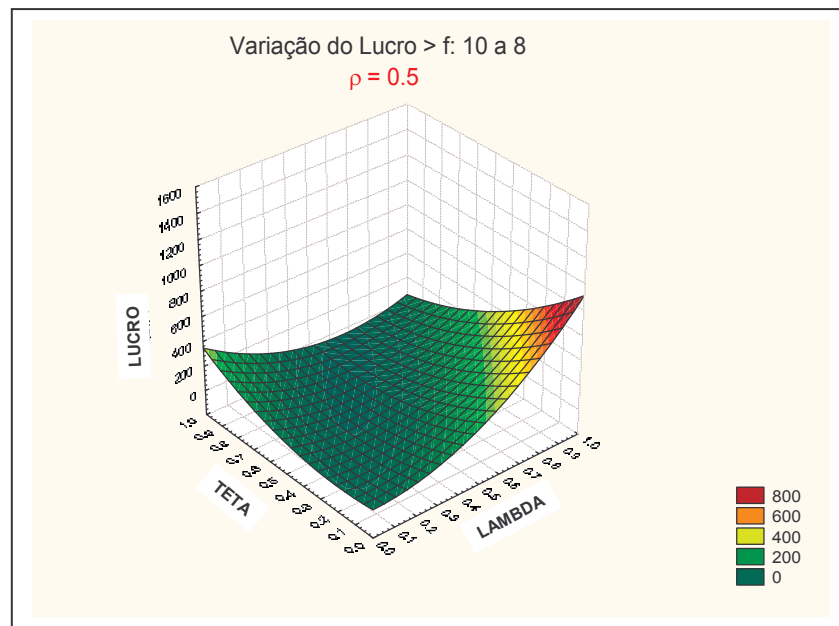
Os gráficos demonstram que, para valores relativamente baixos de λ e relativamente altos de θ , o que representa um mercado sensível à qualidade, a redução do parâmetro f , devido a investimentos em TI, representa um impacto positivo embora pequeno no lucro, independentemente do grau de certeza da firma em relação aos custos do seu competidor. Também, quando λ tem valores altos e θ baixos, o que representa um mercado sensível a preço, a redução do parâmetro f tem um forte impacto no lucro. Estes resultados são semelhantes aos resultados encontrados quando não há incerteza (Quan et al, 2003). Ou seja, para mercados sensíveis a preço, o resultado é semelhante ao resultado sem incerteza e, o grau de incerteza da firma quanto aos custos do seu competidor, apenas acentua ou minimiza este impacto: quanto menor a incerteza, menor o impacto no lucro esperado. Entretanto, para mercados sensíveis à qualidade o resultado difere inclusive no sinal. Enquanto em um ambiente sem incerteza o impacto é negativo, em um ambiente com incerteza o impacto é positivo embora fraco, como pode ser observado nas Figuras 5.1, 5.2 e 5.3.

Figura 5.1 – Impacto de TI no lucro com redução de f , grau de certeza igual a 0.2



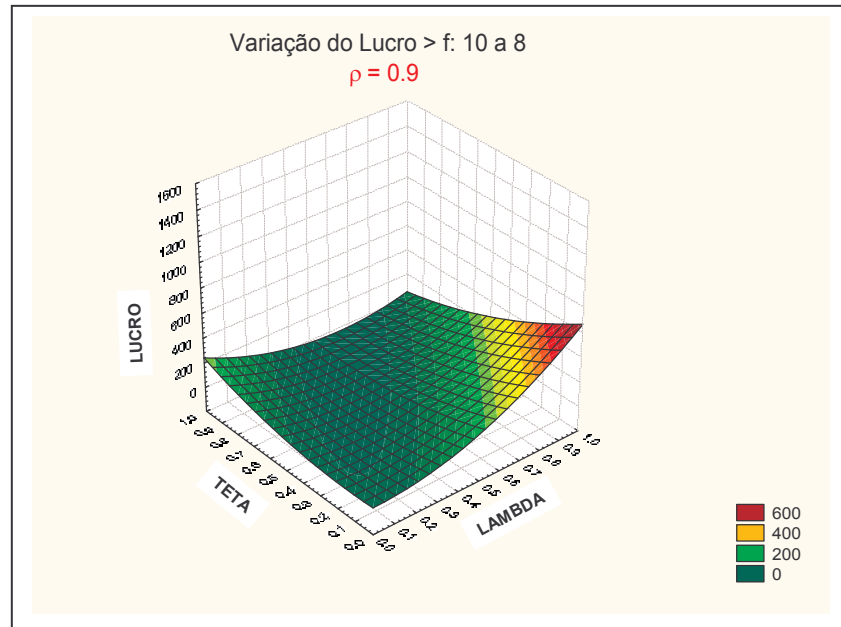
Fonte: Elaboração própria

Figura 5.2 – Impacto de TI no lucro com redução de f , grau de certeza igual a 0.5



Fonte: Elaboração própria

Figura 5.3 – Impacto de TI no lucro, com redução de f , grau de certeza igual a 0.9



Fonte: Elaboração própria

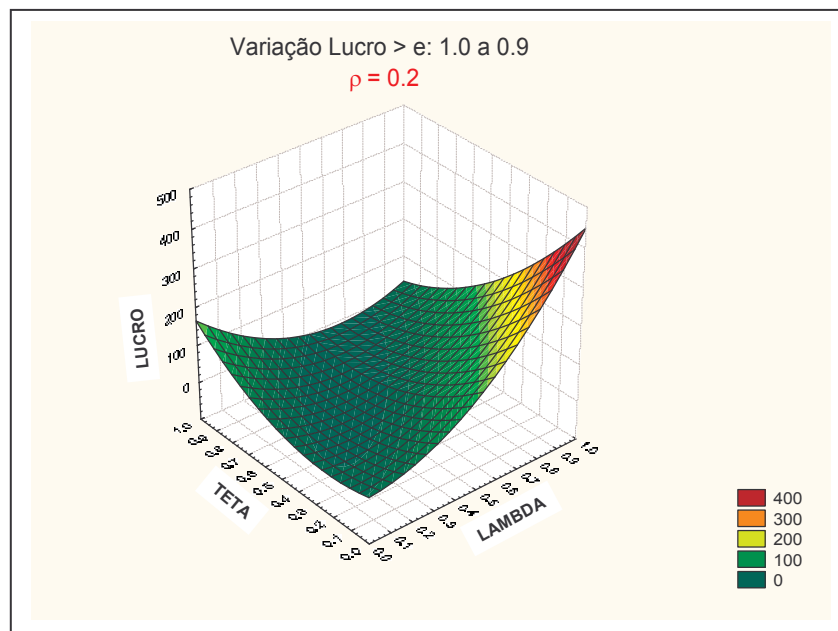
5.1.2. Redução do parâmetro e

O impacto no desempenho da firma quando investimentos em TI são feitos com o objetivo de reduzir os *custos relacionados à produção, distribuição e serviços com o produto*, também conhecidos como investimentos que melhoram a eficiência, aqui representado por uma diminuição no parâmetro e da função custo esperado, equação [4.14], pode ser observado pelo comportamento do lucro esperado com a variação incremental de e . Ou seja, um decréscimo em e afeta o lucro esperado da firma conforme o sinal obtido pela derivada:

$$\frac{\partial E(\pi_i)}{\partial e} = \frac{\partial}{\partial e} \left[\frac{a^2 f [4bf - (c - eb)^2]}{Z_1^2} X^2 - F_i \right]$$

Aqui, a simulação numérica para a análise do impacto de TI foi realizada com a variação do parâmetro e , de 1 a 0.9 e grau de certeza de 20%, 50% e 90% quanto aos custos do concorrente. Os resultados obtidos são apresentados nas Figuras 5.4, 5.5 e 5.6 e o detalhamento dessa simulação encontra-se no Anexo 2.

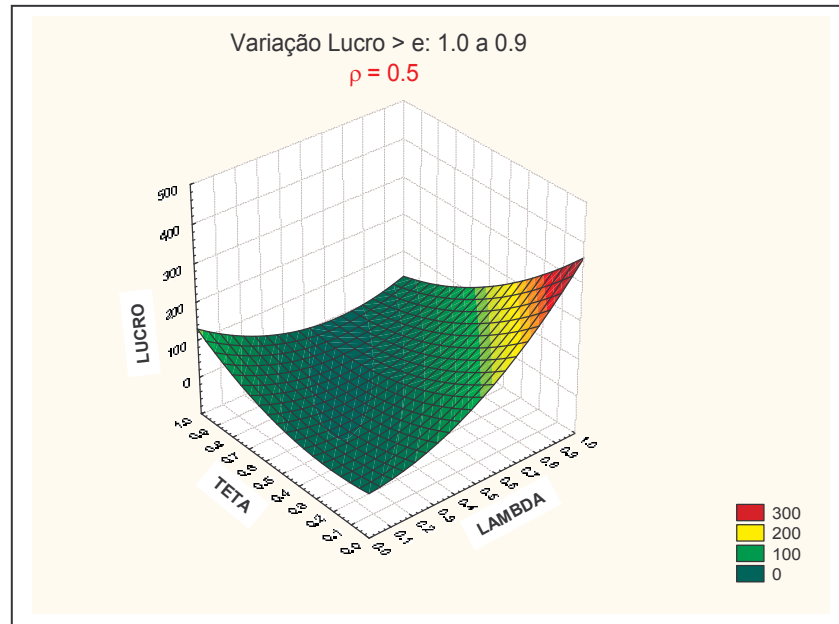
Figura 5.4 – Impacto de TI, no lucro com redução de e , grau de certeza igual a 0.2



Fonte: Elaboração própria

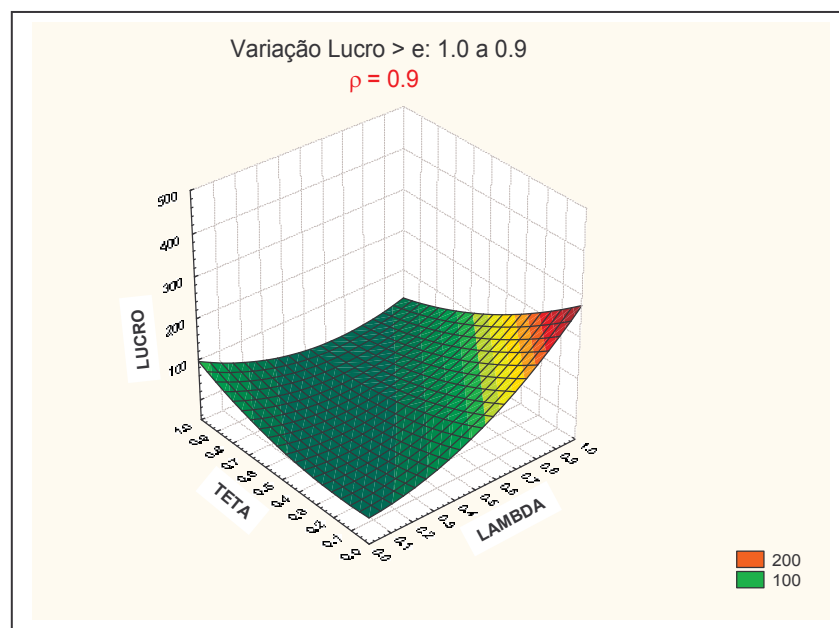
Semelhantemente aos resultados encontrados para uma redução no parâmetro f , os gráficos das figuras 5.4, 5.5 e 5.6 demonstram que, em um mercado sensível à qualidade, a redução do parâmetro e , devido a investimentos em TI, representa um pequeno e positivo impacto no lucro, independentemente do grau de certeza da firma em relação ao seu competidor, que também é diferente do resultado encontrado quando não há incerteza, que aponta para um impacto negativo (Quan et al, 2003). Por outro lado, em um mercado sensível a preço, a redução do parâmetro f tem um forte impacto no lucro. O grau de incerteza da firma quanto aos custos do seu competidor apenas acentua ou minimiza este impacto: quanto menor a incerteza, menor o impacto no seu lucro esperado. Este resultado é semelhante ao encontrado quando não há incerteza.

Figura 5.5 – Impacto de TI no lucro, com redução de e , grau de certeza igual a 0.5



Fonte: Elaboração própria

Figura 5.6 – Impacto de TI no lucro, com redução de e , grau de certeza igual a 0.9



Fonte: Elaboração própria

5.2. Impacto de investimentos em TI na Produtividade

O objetivo deste item é o de investigar o efeito de investimentos em TI na *produtividade* da firma, em um mercado competitivo em preço e qualidade, em situação de incerteza. Primeiro, é analisado o impacto proporcionado por investimentos em TI que objetivem reduzir os *custos de desenvolvimento e projeto do produto* (redução do parâmetro f) e, em seguida o impacto resultante de investimentos em TI que objetivem reduzir os *custos de produção e operação* (redução do parâmetro e).

5.2.1. Redução do parâmetro f

Com investimentos em TI que objetivem uma redução nos custos de desenvolvimento e projeto, um decréscimo em f afeta a produtividade esperada da firma conforme o sinal obtido pela derivada da produtividade esperada em função de uma variação incremental em f :

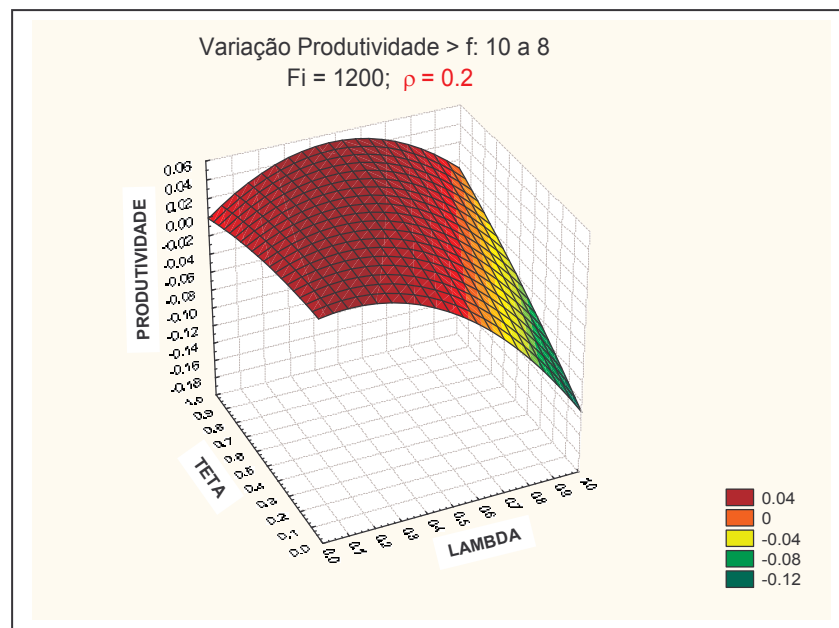
$$\frac{\partial E(\varphi_i)}{\partial f} = \frac{\partial}{\partial f} \left[\frac{2a^2bf[e(c - eb) + 2f]}{\frac{Z_1^2}{X^2}Fi + a^2f(c^2 - b^2e^2)} \right]$$

Como a derivada da produtividade é dependente do custo fixo Fi , a simulação numérica foi realizada considerando-se dois valores de diferentes magnitudes. O primeiro com um custo fixo relativamente pequeno, $Fi = 100$, e o segundo com um custo fixo relativamente alto, $Fi = 1.200$, ambos com f variando entre 8 e 10 e graus de certeza de 20%, 50% e 90% em relação aos custos do concorrente. Os resultados são apresentados nas Figuras 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11 e 5.12 e o detalhamento apresentado no Anexo 3.

Os gráficos das Figuras 5.7, 5.9 e 5.11 demonstram que, em situação de incerteza e para um custo fixo elevado, o impacto na produtividade, devido a um investimento em TI que reduz f , pode ser positivo ou negativo, diferentemente do impacto encontrado para situações sem incerteza, que produz um impacto positivo e mais forte em mercado sensível a preço e, positivo e mais fraco, em mercado sensível à qualidade (Quan et al, 2003). Em situação de incerteza, para valores intermediários e baixos de λ e ampla faixa de θ (mercado menos

sensível ao preço), a redução do parâmetro f , devido a investimentos em TI, produz um pequeno e positivo impacto na produtividade. Para um mercado altamente sensível ao preço (altos valores de λ e baixos valores de θ), investimentos em TI que reduzem f produzem impacto negativo e forte na produtividade.

Figura 5.7 – Impacto de TI na produtividade, com redução de f , grau de certeza igual a 0.2 e $F_i = 1.200$

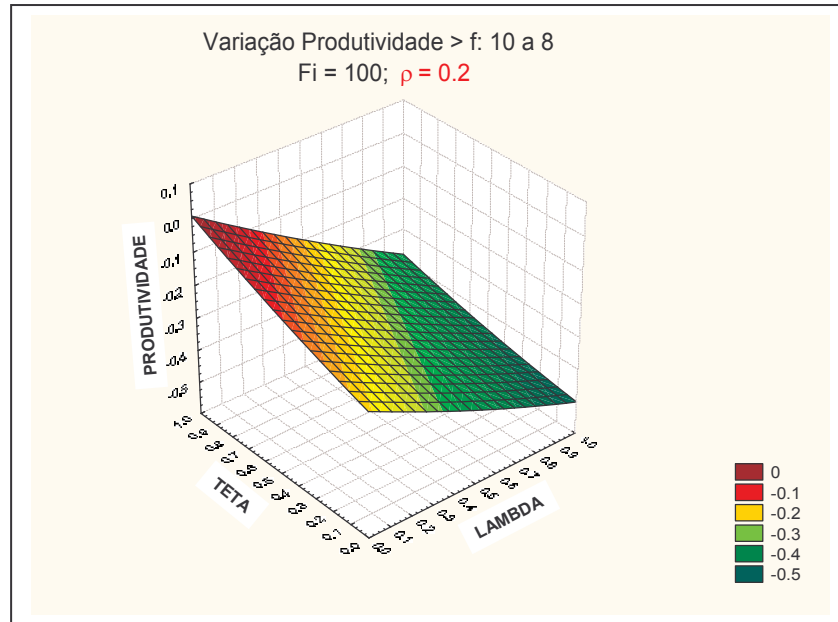


Fonte: Elaboração própria

A análise desses gráficos leva a concluir que quanto menor for a incerteza da firma quanto aos custos do seu competidor, tanto o impacto negativo quanto o positivo são ligeiramente atenuados.

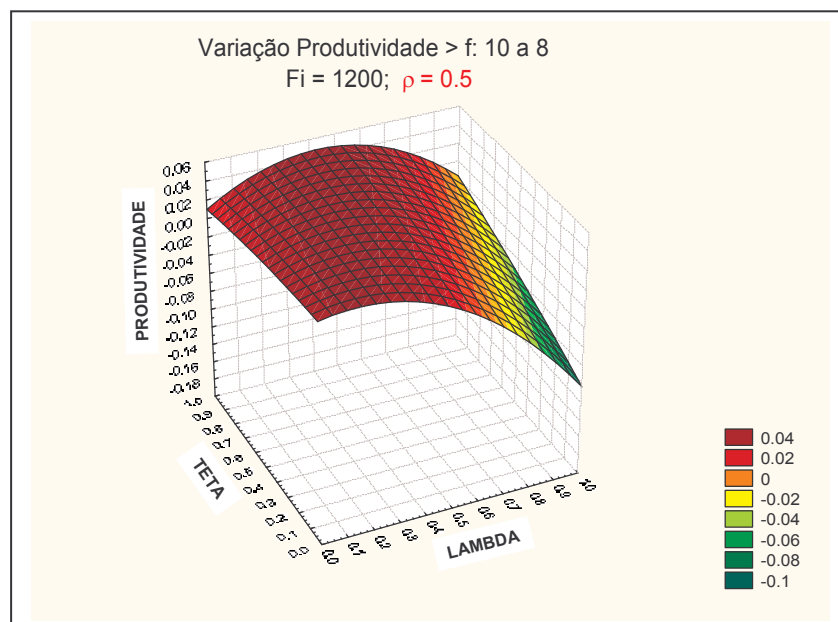
Para um custo fixo baixo, como apresentados nos gráficos das Figuras 5.8, 5.10 e 5.12, investimentos em TI que reduzem f , impactam negativamente a produtividade, que é o mesmo resultado encontrado em situação sem incerteza (Quan et al, 2003). Entretanto, se o mercado for altamente sensível ao preço (θ baixo e λ alto), o impacto negativo é maior, enquanto que em um mercado sensível à qualidade, observa-se um impacto bem menos sensível. Aqui, observa-se uma pequena diferença em relação aos resultados encontrados em mercado sem incerteza, que, independentemente se sensível à qualidade ou a preço, o impacto é igualmente fraco.

Figura 5.8 – Impacto de TI na produtividade, com redução de f , grau de certeza igual a 0.2 e $F_i = 100$



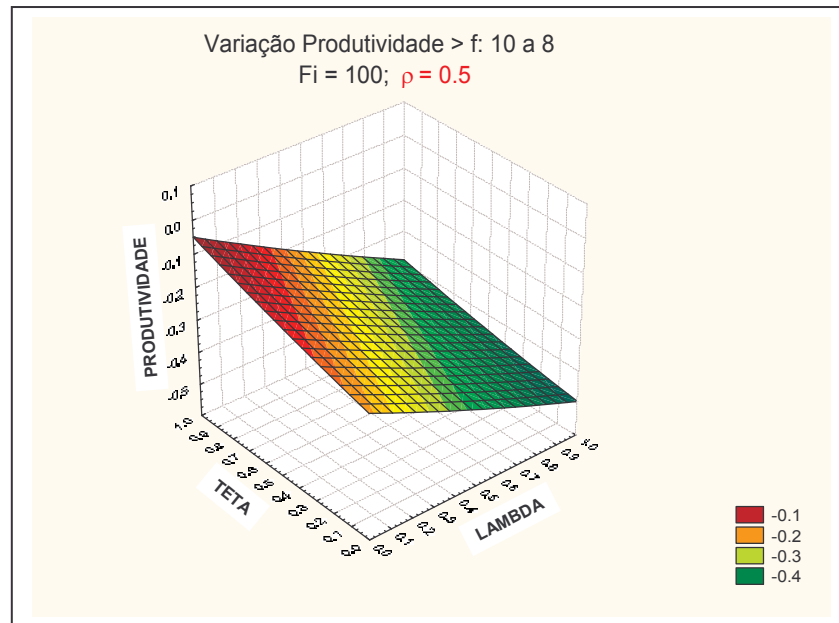
Fonte: Elaboração própria

Figura 5.9 – Impacto de TI na produtividade, com redução de f , grau de certeza igual a 0.5 e $F_i = 1.200$



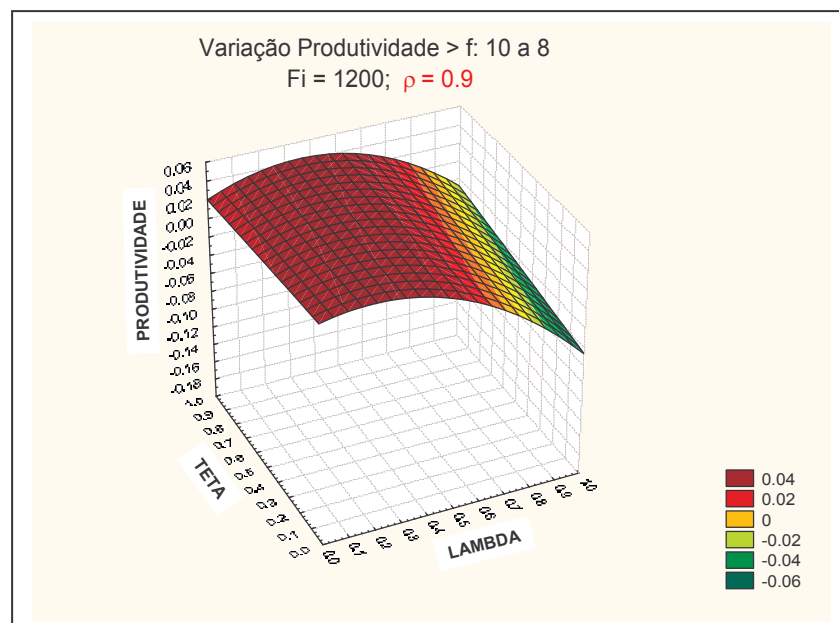
Fonte: Elaboração própria

Figura 5.10 – Impacto de TI na produtividade, com redução de f , grau de certeza igual a 0.5 e $F_i = 100$



Fonte: Elaboração própria

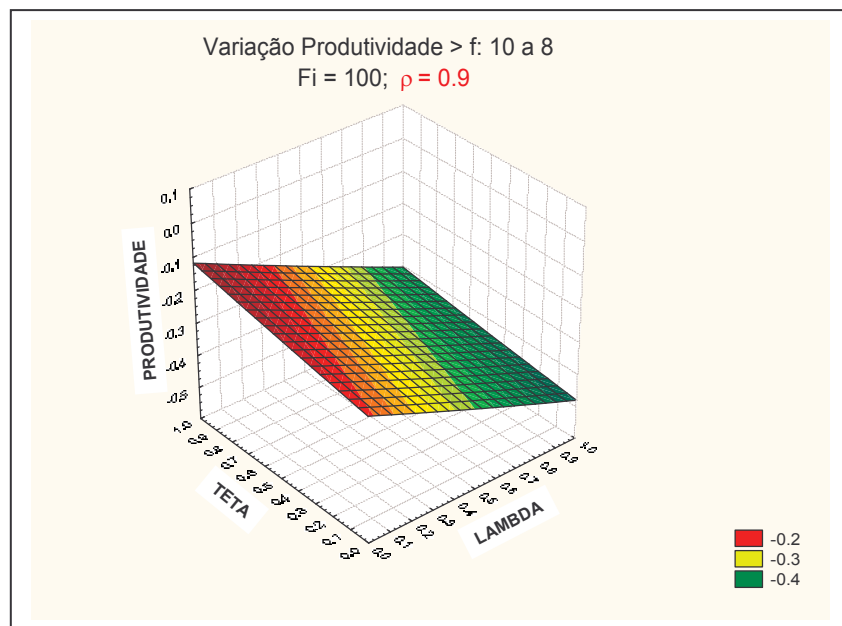
Figura 5.11 – Impacto de TI na produtividade, com redução de f , grau de certeza igual a 0.9 e $F_i = 1.200$



Fonte: Elaboração própria

Comparando-se as Figuras, observa-se que o efeito negativo, em mercados sensíveis a preço, é ligeiramente atenuado à medida que o grau de certeza da firma, em relação aos custos do seu competidor, aumenta. Por outro lado, em mercados sensíveis à qualidade, o efeito negativo é ligeiramente acentuado, quanto menor for a incerteza.

Figura 5.12 – Impacto de TI na produtividade, com redução de f , grau de certeza igual a 0.9 e $F_i = 100$



Fonte: Elaboração própria

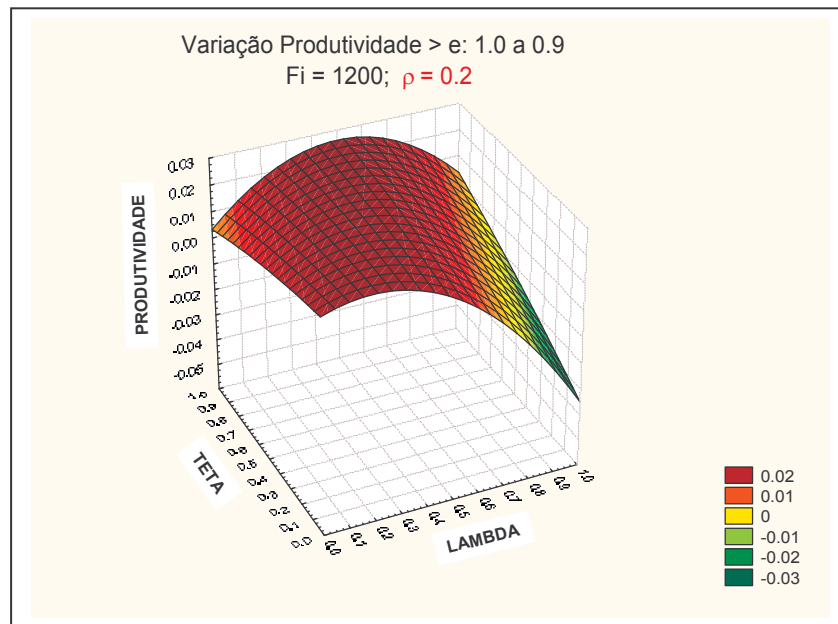
5.2.2. Redução do parâmetro e

Na condição em que os investimentos em TI objetivam reduzir os *custos de produção e operação* (redução do parâmetro e), a análise de como isto afeta a produtividade esperada da firma é deduzida da derivada da produtividade esperada em função de uma variação incremental em e :

$$\frac{\partial E(\varphi_i)}{\partial e} = \frac{\partial}{\partial e} \left[\frac{2a^2bf[e(c - eb) + 2f]}{\frac{Z_1^2}{X^2}F_i + a^2f(c^2 - b^2e^2)} \right]$$

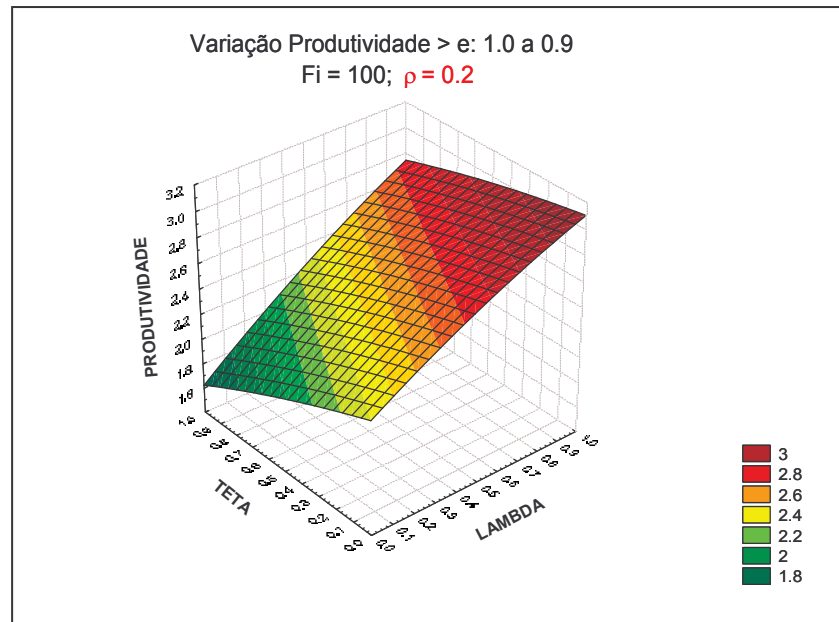
Semelhante a análise anterior, a simulação numérica foi realizada considerando-se dois valores para o custo fixo da firma, de diferentes magnitudes: $Fi = 100$ e $Fi = 1.200$, com e variando entre 0.9 e 1.0 e graus de certeza de 20%, 50% e 90% em relação aos custos do concorrente. Os resultados encontrados são apresentados nas Figuras 5.13, 5.14, 5.15, 5.16, 5.17 e 5.18 e o detalhamento apresentado no Anexo 4.

Figura 5.13 – Impacto de TI na produtividade, com redução de e , grau de certeza igual a 0.2 e $Fi = 1.200$



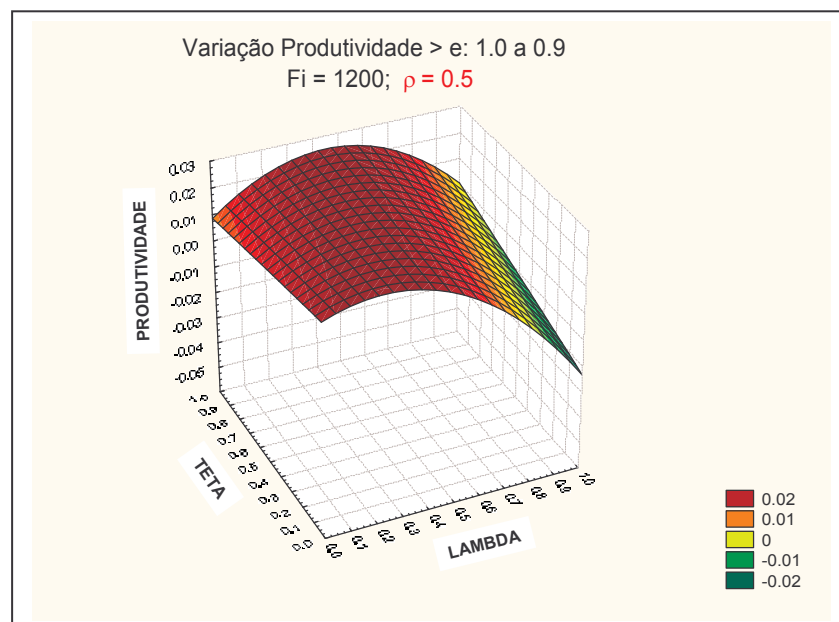
Fonte: Elaboração própria

Figura 5.14 – Impacto de TI na produtividade, com redução de e , grau de certeza igual a 0.2 e $Fi = 100$



Fonte: Elaboração própria

Figura 5.15 – Impacto de TI na produtividade, com redução de e , grau de certeza igual a 0.5 e $Fi = 1.200$

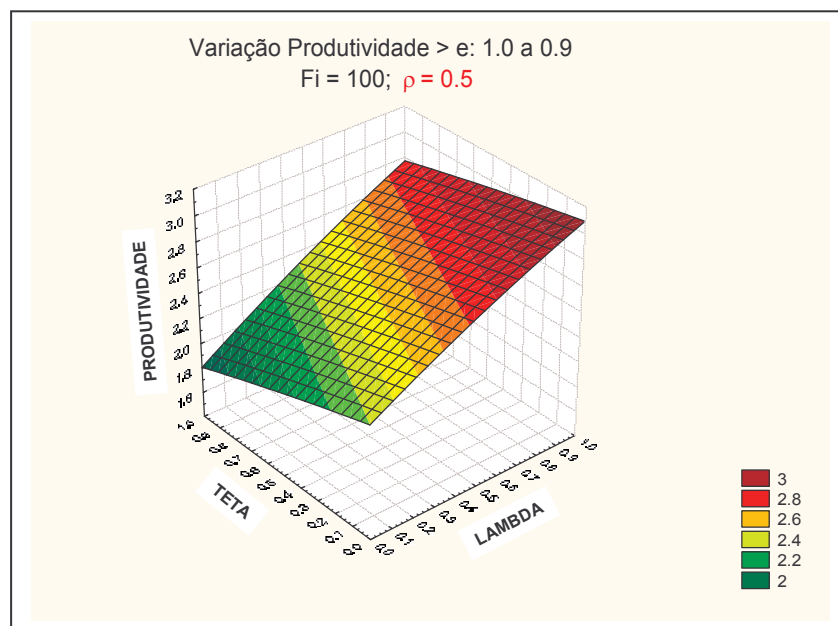


Fonte: Elaboração própria

Os gráficos das Figuras 5.13, 5.15 e 5.17 demonstram que, quando a firma opera com um custo fixo elevado, semelhante a análise para investimentos em TI que reduzem f , o impacto na produtividade, devido a um investimento em TI que reduz e , pode ser positivo ou negativo. Ou seja, o comportamento observado é exatamente igual aos resultados alcançados com investimentos em TI que reduzem f , em ambiente de incerteza, e, também, um pouco diferente daquele encontrado para situações sem incerteza, que produz um impacto positivo e mais forte, em mercado sensível a preço, e positivo e mais fraco, em mercado sensível à qualidade (Quan et al, 2003).

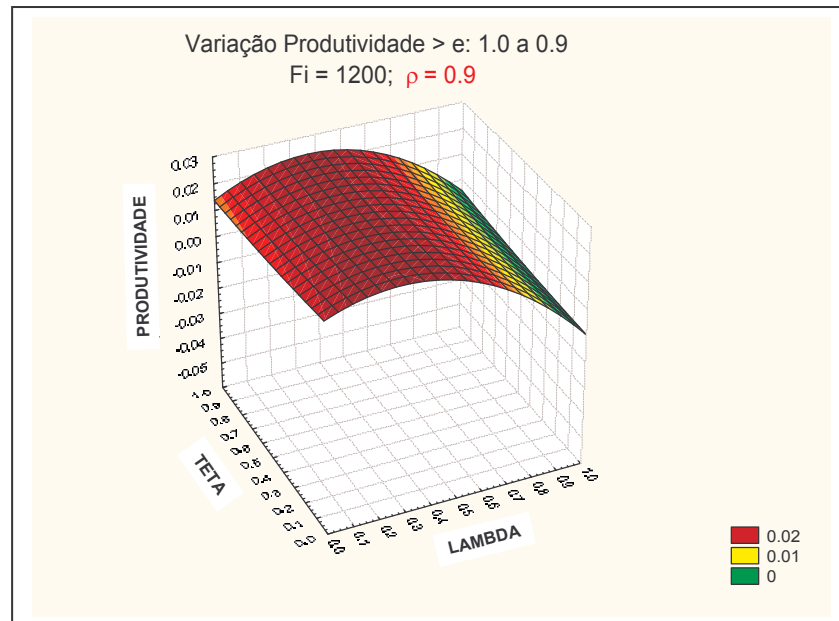
Quando a firma opera com custos fixos baixos, de acordo com as Figuras 5.14, 5.16 e 5.18, diferentemente dos resultados encontrados em situação sem incerteza, que apontam para um impacto negativo e fraco do investimento em TI na produtividade da firma, independente da sensibilidade do mercado, se a preço ou qualidade, observa-se um impacto positivo e forte, para mercados sensíveis a preço, e positivo e fraco para mercados sensíveis à qualidade. Aqui, o grau de incerteza contribui para atenuar o impacto apenas em mercados sensíveis à qualidade: quanto menor a incerteza, menor o impacto.

Figura 5.16 – Impacto de TI na produtividade, com redução de e , grau de certeza igual a 0.5 e $F_i = 100$



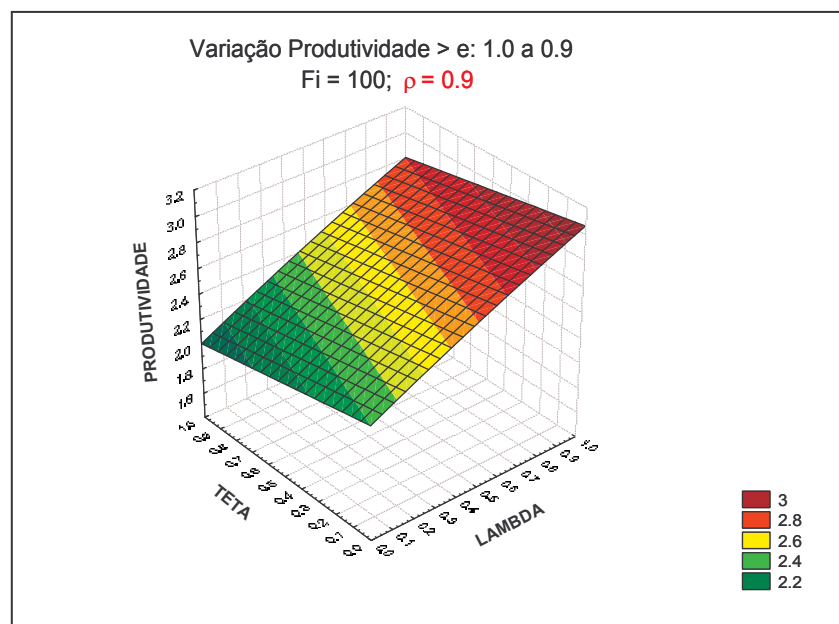
Fonte: Elaboração própria

Figura 5.17 – Impacto de TI na produtividade, com redução de e , grau de certeza igual a 0.9 e $Fi = 1.200$



Fonte: Elaboração própria

Figura 5.18 – Impacto de TI na produtividade, com redução de e , grau de certeza igual a 0.9 e $Fi = 100$



Fonte: Elaboração própria

Das análises realizadas, conclui-se que para investimentos em TI que reduzem e em um duopólio em competição de preço e qualidade, operando numa condição de incerteza quanto aos custos do concorrente, não apenas os custos fixos, mas também a sensibilidade do mercado produzem um efeito na produtividade. Para custos fixos baixos, esse efeito é positivo e mais acentuado em mercados sensíveis a preço e menos acentuado em mercados sensíveis à qualidade. Para custos fixos elevados, o efeito pode ser positivo ou negativo, a depender da sensibilidade do mercado. Em mercados sensíveis a preço, o impacto é negativo e forte, enquanto que, para mercados sensíveis à qualidade, o impacto é positivo, variando de forte a moderado.

5.3. Comparação dos resultados com e sem incerteza

O Quadro 5.1 resume e compara os resultados encontrados nesta pesquisa com aqueles encontrados por Quan et al (2003), para o impacto de TI no *lucro*, em condições semelhantes de mercado, à exceção da condição de incerteza. Neste quadro são apresentados os objetivos do investimento em TI, se para reduzir custos com projeto e desenvolvimento do produto ou se para reduzir custos de produção, distribuição e serviços. No primeiro caso, por meio de uma redução no parâmetro f e, no segundo caso, por meio de uma redução no parâmetro e .

Para ambos os casos estuda-se o impacto da TI no lucro, tanto para mercados sensíveis ao preço, quanto para mercados sensíveis à qualidade.

Observa-se que a incorporação da incerteza traz um resultado diferente, mas pouco representativo, em relação ao impacto de TI no lucro de firmas, operando em duopólio sem incerteza. Isto apenas para mercados sensíveis à qualidade, quando investimentos de TI são feitos para reduzir custos com projeto e desenvolvimento ou para reduzir custos de produção e operação da firma.

Quadro 5.1 – Impacto de TI no lucro, comparada com os resultados encontrados por Quan et al (2003)

Investimento em TI	Sensibilidade do mercado	Impacto da TI no LUCRO	
		efeito s/ incerteza (Quan et al, 2003)	efeito c/ incerteza
p/reduzir custos com projeto e desenvolvimento do produto Redução em f	Preço ($\lambda \uparrow$; $\theta \downarrow$)	+	+ forte
	Qualidade: ($\lambda \downarrow$; $\theta \uparrow$)	-	+ fraco
p/reduzir custos de produção, distribuição e serviços Redução em e	Preço ($\lambda \uparrow$; $\theta \downarrow$)	+	+ forte
	Qualidade: ($\lambda \downarrow$; $\theta \uparrow$)	-	+ fraco

Fonte: Elaboração própria

O Quadro 5.2 resume e compara os resultados encontrados nessa pesquisa, onde, em condições semelhantes de mercado, acrescenta-se a condição de incerteza, com os resultados obtidos por Quan et al (2003), para o impacto de TI na *produtividade*, para custos fixos com diferentes magnitudes. Semelhantemente à comparação apresentada no Quadro .1, são apresentados os objetivos do investimento em TI, se para reduzir custos com projeto e desenvolvimento do produto ou se para reduzir custos de produção, distribuição e serviços. No primeiro caso, por meio de uma redução no parâmetro f e, no segundo caso, por meio de uma redução no parâmetro e .

Para ambos os casos estuda-se o impacto da TI na produtividade, tanto para mercados sensíveis ao preço, quanto para mercados sensíveis à qualidade, sob duas condições: para um custo fixo de grande magnitude, F_i igual a 1.200, e para um custo fixo de pequena magnitude relativa, F_i igual a 100.

Quadro 5.2 – Impacto de TI na produtividade, comparada com os resultados encontrados por QUAN et al (2003)

Investimento em TI	Sensibilidade do mercado	Impacto na PRODUTIVIDADE p/ $F_i = 1.200$				Impacto na PRODUTIVIDADE p/ $F_i = 100$			
		s/ incerteza (Quan et al, 2003)		c/ incerteza		s/ incerteza (Quan et al, 2003)		c/ incerteza	
p/reduzir custos com projeto e desenvolvimento do produto Redução em f	Preço: $\lambda \uparrow$	+	forte	-	forte	-	fraco	-	forte
	Qualidade: $\theta \uparrow$	+	fraco	+	moderado, p/ $\lambda \downarrow$; forte p/ λ médio	-	fraco	-	fraco
p/reduzir custos de produção, distribuição e serviços Redução em e	Preço: $\lambda \uparrow$	+	forte	-	forte	-	fraco	+	forte
	Qualidade: $\theta \uparrow$	+	fraco	+	fraco, p/ $\lambda \downarrow$; forte p/ λ médio	-	fraco	+	fraco

Fonte: Elaboração própria

Em relação ao impacto de TI na *produtividade* da firma, a análise dos resultados mostra que a incorporação da incerteza em um duopólio, em competição de preço e qualidade, produz diferentes resultados em relação àqueles em que não existe situação de incerteza. Quando os custos fixos são elevados, as diferenças mais significativas são observadas em mercado mais sensível a preço, para investimentos em TI que reduzem os custos variáveis, independentemente do seu objetivo (redução em f ou em e). Para custos fixos reduzidos, a diferença mais significativa é, também, para mercado sensível a preço, para investimentos em TI que reduzem os custos variáveis de produção, distribuição e serviços da firma.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com o objetivo de responder à questão: *Como a decisão estratégica de investir em TI em uma estrutura de mercado de duopólio, em concorrência de preços e qualidade e com incerteza de custos do concorrente, impacta o desempenho econômico da firma?*, que trata da polêmica questão da real contribuição da Tecnologia da Informação na produtividade ou em outros indicadores de desempenho organizacional, esta pesquisa desenvolveu um Modelo Analítico para análise do impacto de investimentos em TI, no desempenho de firmas em uma estrutura de mercado de duopólio, em concorrência de preços e qualidade, em situação de incerteza quanto aos custos do concorrente.

Nesse ambiente de incerteza, uma firma precisa tomar decisões quanto ao seu preço e qualidade, de forma a maximizar seus lucros. Nestas condições, o conhecimento do quanto e como a incerteza, em relação aos custos do concorrente, impacta no desempenho, é um fator importante que pode interferir nessa decisão.

A pesquisa foi desenvolvida com suposições da firma sobre o custo de seu concorrente ser *alto* e com probabilidade p , ou *baixo* e com probabilidade $1-p$, em relação ao seu próprio custo, ou ao que a firma supõe ser alto ou baixo para o concorrente. A complexidade das equações de um modelo analítico que trabalha com as funções demanda e custo cresce bastante, quando se insere mais um parâmetro, no caso a qualidade. Ao incorporar a incerteza nesse modelo já complexo, é necessária a ajuda de ferramentas que facilitem o desenvolvimento das equações. Ainda assim, isto não é suficiente para se obter equações visualmente organizadas e simplificadas que possibilitem uma análise simples, do comportamento das derivadas das variáveis de desempenho.

Devido a essa dificuldade, a análise do Modelo Analítico foi realizada sobre as simulações numéricas, atribuindo-se valores aos parâmetros, com a ajuda de softwares estatísticos. É necessária uma análise mais detalhada sobre estes valores, no sentido de verificar sua razoabilidade.

Os resultados desta pesquisa foram comparados com os resultados encontrados por Quan et al (2003), que estudou o impacto de investimentos em TI no desempenho de firmas, operando em uma estrutura de mercado, em competição de preço e qualidade, em um ambiente sem incertezas.

Os resultados demonstram que a introdução da incerteza em uma estrutura de mercado de duopólio, em competição de preço e qualidade, interfere nos resultados encontrados em relação ao impacto da TI no **lucro** de firmas, em situação onde não há incerteza, predominantemente como um elemento atenuador do impacto (quanto menor a incerteza, menor o impacto). A incerteza produz alguma modificação apenas para mercados sensíveis à qualidade, quando investimentos de TI são feitos para reduzir custos variáveis, independentemente dos seus objetivos. Por outro lado, o impacto da TI na **produtividade** de firmas, operando nas mesmas condições acima, produz significativos e diferentes resultados daqueles em que não há incerteza.

Como contribuição para uma próxima pesquisa sobre o tema, sugere-se que seja desenvolvido um modelo analítico para uma estrutura de mercado de duopólio, em competição de preço e qualidade, que atue em um ambiente de incertezas quanto aos custos do concorrente, utilizando probabilidade contínua, o que representaria mais adequadamente mercados reais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BARUA, A; KRIEBEL, C. H; MUKHOPADHYAY, T. **An Economic Analysis of Strategic Information Technology Investments.** *MIS Quarterly*, September 1991.
- [2] BRYNJOLFSSON, E. **The productivity paradox of information Technology: Review and assessment.** *Communications of the ACM* 36 (12), 1993, pp. 67-77.
- [3] KO, M; OSEI-BRYSON, K. M. **Using regression splines to assess the impact of information technology investment on productivity in the health care industry.** *Info Systems, J* (2004), 14, 43-63.
- [4] LI, M; YE, L. R. **Information Technology and firm performance: Linking with environmental, strategic and managerial contexts.** *Information & Management* 35 (1999) 43 – 51.
- [5] PINDYCK, R. S; RUBINFELD, D. L. **Microeconomia.** *Quinta edição, São Paulo: Prentice Hall*, 2002, pp. 186-187.
- [6] QUAN, J. J; HU, Q; HART, P. J. **Information technology investments and firm's performance – A duopoly perspective.** *Journal of Management Information Systems*, Vol 20, No. 3, pp. 121-158, Winter 2003.
- [7] ROSA, E. B; PAMPLONA, E. O; ALMEIDA, D. A. **Parâmetros de desempenho e os Elementos de Competitividade.** *16o ENEGEP. Piracicaba, SP, outubro de 1996.*
- [8] STRATOPOULOS, T; DEHNING, B. **Does successful investment in information technology solve the productivity paradox?.** *Information & Management*, 38 (2000) 103-117.
- [9] THATCHER, M. E. **The impact of Technology on Product Design, Productivity and Profits: A Duopoly Model of Price-Quality Competition.** 31th Hawaii International Conference on System Sciences – 2004
- [10] THATCHER, M. E; OLIVER, J. R. **The impact of Technology Investments on a Firm's Production Efficiency, Product Quality and Productivity.** *Journal of Management Information Systems*, Vol 18, 2, pp. 121-158, Fall 2001.
- [11] THATCHER, M. E; PINGRY, D. E. **Understanding the Business Value of Information Technology Investments: Theoretical Evidence from Alternative Market**

and Cost Structures. *Journal of Management Information Systems*, Vol 21, No. 2, pp. 61-85, Fall 2004.

[12] TANGEN, S. **Demystifying productivity and performance.** *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol. 54, No. 1, 2005 pp. 34-46, q Emerald Group Publishing Limited, 1741-0401, DOI 10.1108/17410400510571437.

[13] TEO, T. S. H; WONG, P. K; CHIA, E. H.. **Information technology (IT) investment and the role of a firm: an exploratory study.** *International Journal of Information Management*, 20, 269-286, 2000.

[14] VARIAN, Hal R. **Microeconomic Analysis.** 3rd ed. ISBN 0-393-95735-7. Norton & Company Inc. 1992.

[15] WAINER, J. (2002). **O paradoxo da produtividade.** *Instituto de Computação da UNICAMP.*

[16] WANG, C. H; GOPAL, R. D; ZIONTS, S. (1997). **Use of Data Envelopment Analysis in assessing Information Technology impact on firm performance.** *Annals of Operations Research* 73 (1997) 191 – 213.

ANEXOS

ANEXO 1

CÁLCULO DO LUCRO EM FUNÇÃO DE f , COM O MATLAB

```
>> syms a b c e eh el f fh fl R L T m k mh kh ml kl Fi
>> m= (e*(c-e*b)+2*f)/(4*b*f-(c-e*b)^2);
>> mh= (eh*(c-eh*b)+2*fh)/(4*b*fh-(c-eh*b)^2);
>> ml= (el*(c-el*b)+2*fl)/(4*b*fl-(c-el*b)^2);
>> k= (c-e*b)/(4*b*f-(c-e*b)^2);
>> kh= (c-eh*b)/(4*b*fh-(c-eh*b)^2);
>> kl= (c-el*b)/(4*b*fl-(c-el*b)^2);
>> M= R*mh+(1-R)*ml;
>> W= R*kh+(1-R)*kl;
>> X= (1+b*L*M-c*T*W)/(1+b*L*m-c*T*k);
>> Z1= 2*b*f*(2*X-M*L/m)-(c-e*b)*(c*(X-W*T/k)-b*e*(X-M*L/m));

>> EL = a^2*f*(4*b*f-(c-e*b)^2)*X^2/Z1^2-Fi;

>> a=100;
>> b=5;
>> c=10;
>> e=1;
>> eh=1.2;
>> el=0.8;
>> fh=10.5;
>> fl=7.5;
```

R	LAMBDA	TETA	LUCRO
0,2	0,1	0,1	22,71
0,2	0,1	0,2	20,87
0,2	0,1	0,3	20,02
0,2	0,1	0,4	19,94
0,2	0,1	0,5	20,46
0,2	0,1	0,6	21,43
0,2	0,1	0,7	22,75
0,2	0,1	0,8	24,33
0,2	0,1	0,9	26,12
0,2	0,1	1	28,03
0,2	0,2	0,1	28,04
0,2	0,2	0,2	24,25
0,2	0,2	0,3	21,96
0,2	0,2	0,4	20,80
0,2	0,2	0,5	20,50
0,2	0,2	0,6	20,85
0,2	0,2	0,7	21,70
0,2	0,2	0,8	22,93
0,2	0,2	0,9	24,44
0,2	0,2	1	26,16
0,2	0,3	0,1	37,14
0,2	0,3	0,2	30,28
0,2	0,3	0,3	25,75
0,2	0,3	0,4	22,96
0,2	0,3	0,5	21,46
0,2	0,3	0,6	20,93
0,2	0,3	0,7	21,13
0,2	0,3	0,8	21,88
0,2	0,3	0,9	23,03
0,2	0,3	1	24,49
0,2	0,4	0,1	52,63
0,2	0,4	0,2	40,69
0,2	0,4	0,3	32,55
0,2	0,4	0,4	27,18
0,2	0,4	0,5	23,83
0,2	0,4	0,6	21,97
0,2	0,4	0,7	21,20
0,2	0,4	0,8	21,26
0,2	0,4	0,9	21,91
0,2	0,4	1	23,01
0,2	0,5	0,1	79,54
0,2	0,5	0,2	58,73
0,2	0,5	0,3	44,46
0,2	0,5	0,4	34,81
0,2	0,5	0,5	28,46
0,2	0,5	0,6	24,49
0,2	0,5	0,7	22,25
0,2	0,5	0,8	21,26
0,2	0,5	0,9	21,18
0,2	0,5	1	21,76

R	LAMBDA	TETA	LUCRO
0,2	0,6	0,1	128,13
0,2	0,6	0,2	90,84
0,2	0,6	0,3	65,54
0,2	0,6	0,4	48,43
0,2	0,6	0,5	36,99
0,2	0,6	0,6	29,52
0,2	0,6	0,7	24,87
0,2	0,6	0,8	22,22
0,2	0,6	0,9	21,00
0,2	0,6	1	20,81
0,2	0,7	0,1	221,20
0,2	0,7	0,2	150,73
0,2	0,7	0,3	104,15
0,2	0,7	0,4	73,16
0,2	0,7	0,5	52,55
0,2	0,7	0,6	38,97
0,2	0,7	0,7	30,21
0,2	0,7	0,8	24,80
0,2	0,7	0,9	21,74
0,2	0,7	1	20,33
0,2	0,8	0,1	415,30
0,2	0,8	0,2	270,53
0,2	0,8	0,3	178,94
0,2	0,8	0,4	119,98
0,2	0,8	0,5	81,66
0,2	0,8	0,6	56,70
0,2	0,8	0,7	40,55
0,2	0,8	0,8	30,32
0,2	0,8	0,9	24,11
0,2	0,8	1	20,64
0,2	0,9	0,1	873,70
0,2	0,9	0,2	535,80
0,2	0,9	0,3	336,36
0,2	0,9	0,4	214,79
0,2	0,9	0,5	139,00
0,2	0,9	0,6	91,09
0,2	0,9	0,7	60,66
0,2	0,9	0,8	41,44
0,2	0,9	0,9	29,54
0,2	0,9	1	22,48
0,2	1	0,1	2186,09
0,2	1	0,2	1220,02
0,2	1	0,3	711,11
0,2	1	0,4	426,88
0,2	1	0,5	261,34
0,2	1	0,6	162,06
0,2	1	0,7	101,40
0,2	1	0,8	64,05
0,2	1	0,9	41,14
0,2	1	1	27,37

R	LAMBDA	TETA	LUCRO
0,5	0,1	0,1	22,86
0,5	0,1	0,2	21,27
0,5	0,1	0,3	20,50
0,5	0,1	0,4	20,42
0,5	0,1	0,5	20,89
0,5	0,1	0,6	21,83
0,5	0,1	0,7	23,18
0,5	0,1	0,8	24,87
0,5	0,1	0,9	26,89
0,5	0,1	1	29,20
0,5	0,2	0,1	27,87
0,5	0,2	0,2	24,55
0,5	0,2	0,3	22,44
0,5	0,2	0,4	21,29
0,5	0,2	0,5	20,91
0,5	0,2	0,6	21,15
0,5	0,2	0,7	21,92
0,5	0,2	0,8	23,12
0,5	0,2	0,9	24,69
0,5	0,2	1	26,59
0,5	0,3	0,1	36,30
0,5	0,3	0,2	30,33
0,5	0,3	0,3	26,21
0,5	0,3	0,4	23,50
0,5	0,3	0,5	21,92
0,5	0,3	0,6	21,23
0,5	0,3	0,7	21,24
0,5	0,3	0,8	21,83
0,5	0,3	0,9	22,89
0,5	0,3	1	24,35
0,5	0,4	0,1	50,35
0,5	0,4	0,2	40,14
0,5	0,4	0,3	32,85
0,5	0,4	0,4	27,77
0,5	0,4	0,5	24,39
0,5	0,4	0,6	22,33
0,5	0,4	0,7	21,30
0,5	0,4	0,8	21,07
0,5	0,4	0,9	21,50
0,5	0,4	1	22,44
0,5	0,5	0,1	74,17
0,5	0,5	0,2	56,78
0,5	0,5	0,3	44,26
0,5	0,5	0,4	35,36
0,5	0,5	0,5	29,17
0,5	0,5	0,6	25,02
0,5	0,5	0,7	22,43
0,5	0,5	0,8	21,04
0,5	0,5	0,9	20,57
0,5	0,5	1	20,84

R	LAMBDA	TETA	LUCRO
0,5	0,6	0,1	115,92
0,5	0,6	0,2	85,64
0,5	0,6	0,3	64,03
0,5	0,6	0,4	48,65
0,5	0,6	0,5	37,80
0,5	0,6	0,6	30,28
0,5	0,6	0,7	25,25
0,5	0,6	0,8	22,07
0,5	0,6	0,9	20,30
0,5	0,6	1	19,61
0,5	0,7	0,1	192,93
0,5	0,7	0,2	137,81
0,5	0,7	0,3	99,27
0,5	0,7	0,4	72,22
0,5	0,7	0,5	53,23
0,5	0,7	0,6	40,00
0,5	0,7	0,7	30,93
0,5	0,7	0,8	24,88
0,5	0,7	0,9	21,07
0,5	0,7	1	18,92
0,5	0,8	0,1	345,83
0,5	0,8	0,2	238,07
0,5	0,8	0,3	165,34
0,5	0,8	0,4	115,65
0,5	0,8	0,5	81,46
0,5	0,8	0,6	57,90
0,5	0,8	0,7	41,74
0,5	0,8	0,8	30,82
0,5	0,8	0,9	23,63
0,5	0,8	1	19,15
0,5	0,9	0,1	682,98
0,5	0,9	0,2	448,52
0,5	0,9	0,3	298,63
0,5	0,9	0,4	200,64
0,5	0,9	0,5	135,54
0,5	0,9	0,6	91,84
0,5	0,9	0,7	62,40
0,5	0,9	0,8	42,63
0,5	0,9	0,9	29,52
0,5	0,9	1	21,07
0,5	1	0,1	1552,80
0,5	1	0,2	951,02
0,5	1	0,3	597,93
0,5	1	0,4	382,41
0,5	1	0,5	246,95
0,5	1	0,6	159,98
0,5	1	0,7	103,36
0,5	1	0,8	66,27
0,5	1	0,9	42,02
0,5	1	1	26,36

R	LAMBDA	TETA	LUCRO
0,9	0,1	0,1	23,06
0,9	0,1	0,2	21,80
0,9	0,1	0,3	21,11
0,9	0,1	0,4	20,92
0,9	0,1	0,5	21,19
0,9	0,1	0,6	21,86
0,9	0,1	0,7	22,90
0,9	0,1	0,8	24,29
0,9	0,1	0,9	26,03
0,9	0,1	1	28,10
0,9	0,2	0,1	27,65
0,9	0,2	0,2	24,96
0,9	0,2	0,3	23,08
0,9	0,2	0,4	21,88
0,9	0,2	0,5	21,28
0,9	0,2	0,6	21,19
0,9	0,2	0,7	21,55
0,9	0,2	0,8	22,32
0,9	0,2	0,9	23,47
0,9	0,2	1	24,97
0,9	0,3	0,1	35,20
0,9	0,3	0,2	30,41
0,9	0,3	0,3	26,82
0,9	0,3	0,4	24,21
0,9	0,3	0,5	22,43
0,9	0,3	0,6	21,35
0,9	0,3	0,7	20,87
0,9	0,3	0,8	20,90
0,9	0,3	0,9	21,40
0,9	0,3	1	22,30
0,9	0,4	0,1	47,44
0,9	0,4	0,2	39,43
0,9	0,4	0,3	33,25
0,9	0,4	0,4	28,57
0,9	0,4	0,5	25,11
0,9	0,4	0,6	22,65
0,9	0,4	0,7	21,03
0,9	0,4	0,8	20,12
0,9	0,4	0,9	19,81
0,9	0,4	1	20,01
0,9	0,5	0,1	67,52
0,9	0,5	0,2	54,27
0,9	0,5	0,3	44,01
0,9	0,5	0,4	36,11
0,9	0,5	0,5	30,11
0,9	0,5	0,6	25,63
0,9	0,5	0,7	22,39
0,9	0,5	0,8	20,17
0,9	0,5	0,9	18,78
0,9	0,5	1	18,10
0,9	0,6	0,1	101,33

R	LAMBDA	TETA	LUCRO
0,9	0,6	0,2	79,14
0,9	0,6	0,3	62,07
0,9	0,6	0,4	48,94
0,9	0,6	0,5	38,89
0,9	0,6	0,6	31,27
0,9	0,6	0,7	25,58
0,9	0,6	0,8	21,43
0,9	0,6	0,9	18,52
0,9	0,6	1	16,63
0,9	0,7	0,1	160,68
0,9	0,7	0,2	122,24
0,9	0,7	0,3	93,12
0,9	0,7	0,4	70,98
0,9	0,7	0,5	54,16
0,9	0,7	0,6	41,40
0,9	0,7	0,7	31,80
0,9	0,7	0,8	24,66
0,9	0,7	0,9	19,46
0,9	0,7	1	15,79
0,9	0,8	0,1	271,26
0,9	0,8	0,2	200,83
0,9	0,8	0,3	148,81
0,9	0,8	0,4	110,11
0,9	0,8	0,5	81,19
0,9	0,8	0,6	59,54
0,9	0,8	0,7	43,34
0,9	0,8	0,8	31,29
0,9	0,8	0,9	22,42
0,9	0,8	1	16,00
0,9	0,9	0,1	495,13
0,9	0,9	0,2	354,81
0,9	0,9	0,3	255,08
0,9	0,9	0,4	183,27
0,9	0,9	0,5	131,06
0,9	0,9	0,6	92,86
0,9	0,9	0,7	64,79
0,9	0,9	0,8	44,18
0,9	0,9	0,9	29,09
0,9	0,9	1	18,15
0,9	1	0,1	1005,62
0,9	1	0,2	689,00
0,9	1	0,3	476,47
0,9	1	0,4	330,71
0,9	1	0,5	229,06
0,9	1	0,6	157,24
0,9	1	0,7	106,04
0,9	1	0,8	69,34
0,9	1	0,9	42,99
0,9	1	1	24,13

ANEXO 2

CÁLCULO DO LUCRO EM FUNÇÃO DE e , COM O MATLAB

```
>> syms a b c e eh el f fh fl R L T m k mh kh ml kl Fi
>> m= (e*(c-e*b)+2*f)/(4*b*f-(c-e*b)^2);
>> mh= (eh*(c-eh*b)+2*fh)/(4*b*fh-(c-eh*b)^2);
>> ml= (el*(c-el*b)+2*fl)/(4*b*fl-(c-el*b)^2);
>> k= (c-e*b)/(4*b*f-(c-e*b)^2);
>> kh= (c-eh*b)/(4*b*fh-(c-eh*b)^2);
>> kl= (c-el*b)/(4*b*fl-(c-el*b)^2);
>> M= R*mh+(1-R)*ml;
>> W= R*kh+(1-R)*kl;
>> X= (1+b*L*M-c*T*W)/(1+b*L*m-c*T*k);
>> Z1= 2*b*f*(2*X-M*L/m)-(c-e*b)*(c*(X-W*T/k)-b*e*(X-M*L/m));

>> EL = a^2*f*(4*b*f-(c-e*b)^2)*X^2/Z1^2-Fi;

>> a=100;
>> b=5;
>> c=10;
>> f=10;
>> eh=1.2;
>> el=0.8;
>> fh=10.5;
>> fl=7.5;
>> Fi = 1200
```

R	LAMB	T	LUCRO
0,2	0,1	0,10	19,0
0,2	0,1	0,20	17,4
0,2	0,1	0,30	16,3
0,2	0,1	0,40	15,7
0,2	0,1	0,50	15,3
0,2	0,1	0,60	15,2
0,2	0,1	0,70	15,3
0,2	0,1	0,80	15,6
0,2	0,1	0,90	15,9
0,2	0,1	1,00	16,3
0,2	0,2	0,10	22,8
0,2	0,2	0,20	20,3
0,2	0,2	0,30	18,4
0,2	0,2	0,40	17,2
0,2	0,2	0,50	16,4
0,2	0,2	0,60	16,0
0,2	0,2	0,70	15,9
0,2	0,2	0,80	15,9
0,2	0,2	0,90	16,1
0,2	0,2	1,00	16,4
0,2	0,3	0,10	28,5
0,2	0,3	0,20	24,4
0,2	0,3	0,30	21,5
0,2	0,3	0,40	19,5
0,2	0,3	0,50	18,1
0,2	0,3	0,60	17,2
0,2	0,3	0,70	16,6
0,2	0,3	0,80	16,4
0,2	0,3	0,90	16,4
0,2	0,3	1,00	16,6
0,2	0,4	0,10	37,1
0,2	0,4	0,20	30,6
0,2	0,4	0,30	26,0
0,2	0,4	0,40	22,7
0,2	0,4	0,50	20,4
0,2	0,4	0,60	18,8
0,2	0,4	0,70	17,8
0,2	0,4	0,80	17,2
0,2	0,4	0,90	16,9
0,2	0,4	1,00	16,9
0,2	0,5	0,10	50,5
0,2	0,5	0,20	40,2
0,2	0,5	0,30	32,8
0,2	0,5	0,40	27,5
0,2	0,5	0,50	23,8
0,2	0,5	0,60	21,2
0,2	0,5	0,70	19,4
0,2	0,5	0,80	18,3
0,2	0,5	0,90	17,6
0,2	0,5	1,00	17,3

R	LAMB	T	LUCRO
0,2	0,6	0,10	72,7
0,2	0,6	0,20	55,5
0,2	0,6	0,30	43,4
0,2	0,6	0,40	34,8
0,2	0,6	0,50	28,9
0,2	0,6	0,60	24,7
0,2	0,6	0,70	21,8
0,2	0,6	0,80	19,9
0,2	0,6	0,90	18,7
0,2	0,6	1,00	18,0
0,2	0,7	0,10	111,9
0,2	0,7	0,20	81,4
0,2	0,7	0,30	60,7
0,2	0,7	0,40	46,5
0,2	0,7	0,50	36,7
0,2	0,7	0,60	29,9
0,2	0,7	0,70	25,3
0,2	0,7	0,80	22,1
0,2	0,7	0,90	20,1
0,2	0,7	1,00	18,8
0,2	0,8	0,10	187,0
0,2	0,8	0,20	128,9
0,2	0,8	0,30	91,1
0,2	0,8	0,40	66,1
0,2	0,8	0,50	49,4
0,2	0,8	0,60	38,1
0,2	0,8	0,70	30,5
0,2	0,8	0,80	25,4
0,2	0,8	0,90	22,0
0,2	0,8	1,00	19,9
0,2	0,9	0,10	349,9
0,2	0,9	0,20	225,2
0,2	0,9	0,30	149,3
0,2	0,9	0,40	101,8
0,2	0,9	0,50	71,4
0,2	0,9	0,60	51,6
0,2	0,9	0,70	38,7
0,2	0,9	0,80	30,2
0,2	0,9	0,90	24,7
0,2	0,9	1,00	21,2
0,2	1	0,10	772,8
0,2	1	0,20	451,1
0,2	1	0,30	274,9
0,2	1	0,40	173,5
0,2	1	0,50	112,9
0,2	1	0,60	75,8
0,2	1	0,70	52,5
0,2	1	0,80	37,9
0,2	1	0,90	28,7
0,2	1	1,00	22,9

R	LAMB	T	LUCRO
0,5	0,1	0,10	19,1
0,5	0,1	0,20	17,8
0,5	0,1	0,30	16,9
0,5	0,1	0,40	16,3
0,5	0,1	0,50	16,1
0,5	0,1	0,60	16,1
0,5	0,1	0,70	16,3
0,5	0,1	0,80	16,6
0,5	0,1	0,90	17,2
0,5	0,1	1,00	17,8
0,5	0,2	0,10	22,7
0,5	0,2	0,20	20,5
0,5	0,2	0,30	18,9
0,5	0,2	0,40	17,8
0,5	0,2	0,50	17,1
0,5	0,2	0,60	16,8
0,5	0,2	0,70	16,7
0,5	0,2	0,80	16,8
0,5	0,2	0,90	17,1
0,5	0,2	1,00	17,5
0,5	0,3	0,10	27,9
0,5	0,3	0,20	24,5
0,5	0,3	0,30	21,9
0,5	0,3	0,40	20,0
0,5	0,3	0,50	18,7
0,5	0,3	0,60	17,8
0,5	0,3	0,70	17,3
0,5	0,3	0,80	17,1
0,5	0,3	0,90	17,2
0,5	0,3	1,00	17,4
0,5	0,4	0,10	35,7
0,5	0,4	0,20	30,3
0,5	0,4	0,30	26,2
0,5	0,4	0,40	23,2
0,5	0,4	0,50	21,0
0,5	0,4	0,60	19,5
0,5	0,4	0,70	18,4
0,5	0,4	0,80	17,8
0,5	0,4	0,90	17,5
0,5	0,4	1,00	17,5
0,5	0,5	0,10	47,8
0,5	0,5	0,20	39,1
0,5	0,5	0,30	32,7
0,5	0,5	0,40	27,9
0,5	0,5	0,50	24,4
0,5	0,5	0,60	21,8
0,5	0,5	0,70	20,1
0,5	0,5	0,80	18,9
0,5	0,5	0,90	18,1
0,5	0,5	1,00	17,7
0,5	0,6	0,10	67,1

R	LAMBDA	TETA	LUCRO
0,5	0,6	0,20	52,9
0,5	0,6	0,30	42,6
0,5	0,6	0,40	35,0
0,5	0,6	0,50	29,4
0,5	0,6	0,60	25,3
0,5	0,6	0,70	22,4
0,5	0,6	0,80	20,4
0,5	0,6	0,90	19,0
0,5	0,6	1,00	18,2
0,5	0,7	0,10	99,9
0,5	0,7	0,20	75,8
0,5	0,7	0,30	58,5
0,5	0,7	0,40	46,0
0,5	0,7	0,50	37,0
0,5	0,7	0,60	30,5
0,5	0,7	0,70	25,9
0,5	0,7	0,80	22,6
0,5	0,7	0,90	20,3
0,5	0,7	1,00	18,8
0,5	0,8	0,10	160,2
0,5	0,8	0,20	116,1
0,5	0,8	0,30	85,6
0,5	0,8	0,40	64,3
0,5	0,8	0,50	49,3
0,5	0,8	0,60	38,6
0,5	0,8	0,70	31,1
0,5	0,8	0,80	25,8
0,5	0,8	0,90	22,1
0,5	0,8	1,00	19,6
0,5	0,9	0,10	282,9
0,5	0,9	0,20	193,9
0,5	0,9	0,30	135,6
0,5	0,9	0,40	96,6
0,5	0,9	0,50	70,1
0,5	0,9	0,60	51,9
0,5	0,9	0,70	39,3
0,5	0,9	0,80	30,7
0,5	0,9	0,90	24,7
0,5	0,9	1,00	20,7
0,5	1	0,10	572,4
0,5	1	0,20	364,1
0,5	1	0,30	238,0
0,5	1	0,40	159,1
0,5	1	0,50	108,3
0,5	1	0,60	75,1
0,5	1	0,70	53,1
0,5	1	0,80	38,4
0,5	1	0,90	28,6
0,5	1	1,00	22,1

R	LAMB	T	LUCRO
0,9	0,1	0,10	19,3
0,9	0,1	0,20	18,3
0,9	0,1	0,30	17,6
0,9	0,1	0,40	17,2
0,9	0,1	0,50	17,0
0,9	0,1	0,60	17,0
0,9	0,1	0,70	17,2
0,9	0,1	0,80	17,5
0,9	0,1	0,90	18,1
0,9	0,1	1,00	18,8
0,9	0,2	0,10	22,5
0,9	0,2	0,20	20,8
0,9	0,2	0,30	19,6
0,9	0,2	0,40	18,6
0,9	0,2	0,50	18,0
0,9	0,2	0,60	17,6
0,9	0,2	0,70	17,4
0,9	0,2	0,80	17,5
0,9	0,2	0,90	17,7
0,9	0,2	1,00	18,2
0,9	0,3	0,10	27,2
0,9	0,3	0,20	24,5
0,9	0,3	0,30	22,4
0,9	0,3	0,40	20,8
0,9	0,3	0,50	19,5
0,9	0,3	0,60	18,7
0,9	0,3	0,70	18,1
0,9	0,3	0,80	17,8
0,9	0,3	0,90	17,7
0,9	0,3	1,00	17,8
0,9	0,4	0,10	34,1
0,9	0,4	0,20	29,8
0,9	0,4	0,30	26,5
0,9	0,4	0,40	23,9
0,9	0,4	0,50	21,8
0,9	0,4	0,60	20,3
0,9	0,4	0,70	19,1
0,9	0,4	0,80	18,3
0,9	0,4	0,90	17,8
0,9	0,4	1,00	17,6
0,9	0,5	0,10	44,3
0,9	0,5	0,20	37,7
0,9	0,5	0,30	32,5
0,9	0,5	0,40	28,4
0,9	0,5	0,50	25,2
0,9	0,5	0,60	22,6
0,9	0,5	0,70	20,7
0,9	0,5	0,80	19,3
0,9	0,5	0,90	18,3
0,9	0,5	1,00	17,6

R	LAMB	T	LUCRO
0,9	0,6	0,10	60,1
0,9	0,6	0,20	49,7
0,9	0,6	0,30	41,6
0,9	0,6	0,40	35,1
0,9	0,6	0,50	30,1
0,9	0,6	0,60	26,1
0,9	0,6	0,70	23,1
0,9	0,6	0,80	20,8
0,9	0,6	0,90	19,0
0,9	0,6	1,00	17,8
0,9	0,7	0,10	86,0
0,9	0,7	0,20	68,9
0,9	0,7	0,30	55,7
0,9	0,7	0,40	45,5
0,9	0,7	0,50	37,5
0,9	0,7	0,60	31,4
0,9	0,7	0,70	26,6
0,9	0,7	0,80	23,0
0,9	0,7	0,90	20,2
0,9	0,7	1,00	18,1
0,9	0,8	0,10	130,7
0,9	0,8	0,20	101,1
0,9	0,8	0,30	78,9
0,9	0,8	0,40	62,0
0,9	0,8	0,50	49,2
0,9	0,8	0,60	39,4
0,9	0,8	0,70	31,9
0,9	0,8	0,80	26,2
0,9	0,8	0,90	21,9
0,9	0,8	1,00	18,7
0,9	0,9	0,10	214,7
0,9	0,9	0,20	159,5
0,9	0,9	0,30	119,5
0,9	0,9	0,40	90,1
0,9	0,9	0,50	68,4
0,9	0,9	0,60	52,3
0,9	0,9	0,70	40,2
0,9	0,9	0,80	31,1
0,9	0,9	0,90	24,4
0,9	0,9	1,00	19,4
0,9	1	0,10	391,7
0,9	1	0,20	276,5
0,9	1	0,30	197,3
0,9	1	0,40	141,9
0,9	1	0,50	102,5
0,9	1	0,60	74,3
0,9	1	0,70	53,8
0,9	1	0,80	39,0
0,9	1	0,90	28,1
0,9	1	1,00	20,3

ANEXO 3

CÁLCULO DA PRODUTIVIDADE EM FUNÇÃO DE f , COM O MATLAB

```
>> syms a b c e eh el f fh fl R L T m k mh kh ml kl Fi
>> m= (e*(c-e*b)+2*f)/(4*b*f-(c-e*b)^2);
>> mh= (eh*(c-eh*b)+2*fh)/(4*b*fh-(c-eh*b)^2);
>> ml= (el*(c-el*b)+2*fl)/(4*b*fl-(c-el*b)^2);
>> k= (c-e*b)/(4*b*f-(c-e*b)^2);
>> kh= (c-eh*b)/(4*b*fh-(c-eh*b)^2);
>> kl= (c-el*b)/(4*b*fl-(c-el*b)^2);
>> M= R*mh+(1-R)*ml;
>> W= R*kh+(1-R)*kl;
>> X= (1+b*L*M-c*T*W)/(1+b*L*m-c*T*k);
>> Z1= 2*b*f*(2*X-M*L/m)-(c-e*b)*(c*(X-W*T/k)-b*e*(X-M*L/m));

>> ETAL = (2*a^2*b*f*(e*(c-e*b)+2*f))/((Z1^2*Fi)/X^2+f*a^2*(c^2-b^2*e^2));

>> a=100;
>> b=5;
>> c=10;
>> e=1;
>> eh=1.2;
>> el=0.8;
>> fh=10.5;
>> fl=7.5;

>> Fi = 1200
>> Fi = 100
```

Fi= 1.200

R	LAMBDA	TETA	PRODUTIV.	0,2	0,60	0,1	0,017
0,2	0,10	0,1	0,038	0,2	0,60	0,2	0,020
0,2	0,10	0,2	0,038	0,2	0,60	0,3	0,023
0,2	0,10	0,3	0,038	0,2	0,60	0,4	0,025
0,2	0,10	0,4	0,039	0,2	0,60	0,5	0,027
0,2	0,10	0,5	0,039	0,2	0,60	0,6	0,029
0,2	0,10	0,6	0,040	0,2	0,60	0,7	0,031
0,2	0,10	0,7	0,042	0,2	0,60	0,8	0,033
0,2	0,10	0,8	0,043	0,2	0,60	0,9	0,035
0,2	0,10	0,9	0,045	0,2	0,60	1,0	0,036
0,2	0,10	1,0	0,046	0,2	0,70	0,1	-0,003
0,2	0,20	0,1	0,038	0,2	0,70	0,2	0,004
0,2	0,20	0,2	0,038	0,2	0,70	0,3	0,009
0,2	0,20	0,3	0,038	0,2	0,70	0,4	0,014
0,2	0,20	0,4	0,038	0,2	0,70	0,5	0,018
0,2	0,20	0,5	0,039	0,2	0,70	0,6	0,021
0,2	0,20	0,6	0,040	0,2	0,70	0,7	0,024
0,2	0,20	0,7	0,041	0,2	0,70	0,8	0,027
0,2	0,20	0,8	0,042	0,2	0,70	0,9	0,029
0,2	0,20	0,9	0,043	0,2	0,70	1,0	0,032
0,2	0,20	1,0	0,045	0,2	0,80	0,1	-0,038
0,2	0,30	0,1	0,037	0,2	0,80	0,2	-0,024
0,2	0,30	0,2	0,037	0,2	0,80	0,3	-0,014
0,2	0,30	0,3	0,037	0,2	0,80	0,4	-0,005
0,2	0,30	0,4	0,037	0,2	0,80	0,5	0,002
0,2	0,30	0,5	0,038	0,2	0,80	0,6	0,008
0,2	0,30	0,6	0,038	0,2	0,80	0,7	0,013
0,2	0,30	0,7	0,039	0,2	0,80	0,8	0,017
0,2	0,30	0,8	0,041	0,2	0,80	0,9	0,021
0,2	0,30	0,9	0,042	0,2	0,80	1,0	0,025
0,2	0,30	1,0	0,043	0,2	0,90	0,1	-0,093
0,2	0,40	0,1	0,034	0,2	0,90	0,2	-0,070
0,2	0,40	0,2	0,034	0,2	0,90	0,3	-0,051
0,2	0,40	0,3	0,035	0,2	0,90	0,4	-0,036
0,2	0,40	0,4	0,035	0,2	0,90	0,5	-0,024
0,2	0,40	0,5	0,036	0,2	0,90	0,6	-0,013
0,2	0,40	0,6	0,037	0,2	0,90	0,7	-0,005
0,2	0,40	0,7	0,038	0,2	0,90	0,8	0,002
0,2	0,40	0,8	0,039	0,2	0,90	0,9	0,009
0,2	0,40	0,9	0,040	0,2	0,90	1,0	0,014
0,2	0,40	1,0	0,042	0,2	1,00	0,1	-0,175
0,2	0,50	0,1	0,028	0,2	1,00	0,2	-0,139
0,2	0,50	0,2	0,029	0,2	1,00	0,3	-0,109
0,2	0,50	0,3	0,030	0,2	1,00	0,4	-0,084
0,2	0,50	0,4	0,031	0,2	1,00	0,5	-0,064
0,2	0,50	0,5	0,033	0,2	1,00	0,6	-0,047
0,2	0,50	0,6	0,034	0,2	1,00	0,7	-0,033
0,2	0,50	0,7	0,035	0,2	1,00	0,8	-0,021
0,2	0,50	0,8	0,036	0,2	1,00	0,9	-0,011
0,2	0,50	0,9	0,038	0,2	1,00	1,0	-0,003
0,2	0,50	1,0	0,039				

Fi = 1.200

R	LAMBDA	TETA	PRODUTIV.	R	LAMBDA	TETA	PRODUTIV.
0,5	0,10	0,1	0,038	0,5	0,60	0,1	0,021
0,5	0,10	0,2	0,038	0,5	0,60	0,3	0,024
0,5	0,10	0,3	0,038	0,5	0,60	0,4	0,025
0,5	0,10	0,4	0,039	0,5	0,60	0,5	0,026
0,5	0,10	0,5	0,039	0,5	0,60	0,6	0,027
0,5	0,10	0,6	0,041	0,5	0,60	0,7	0,028
0,5	0,10	0,7	0,042	0,5	0,60	0,8	0,030
0,5	0,10	0,8	0,044	0,5	0,60	0,9	0,031
0,5	0,10	0,9	0,046	0,5	0,60	1,0	0,033
0,5	0,10	1,0	0,048	0,5	0,70	0,1	0,005
0,5	0,20	0,1	0,038	0,5	0,70	0,2	0,009
0,5	0,20	0,2	0,037	0,5	0,70	0,3	0,012
0,5	0,20	0,3	0,037	0,5	0,70	0,4	0,015
0,5	0,20	0,4	0,038	0,5	0,70	0,5	0,017
0,5	0,20	0,5	0,038	0,5	0,70	0,6	0,019
0,5	0,20	0,6	0,039	0,5	0,70	0,7	0,021
0,5	0,20	0,7	0,040	0,5	0,70	0,8	0,023
0,5	0,20	0,8	0,042	0,5	0,70	0,9	0,025
0,5	0,20	0,9	0,043	0,5	0,70	1,0	0,027
0,5	0,20	1,0	0,045	0,5	0,80	0,1	-0,023
0,5	0,30	0,1	0,037	0,5	0,80	0,2	-0,015
0,5	0,30	0,2	0,037	0,5	0,80	0,3	-0,008
0,5	0,30	0,3	0,036	0,5	0,80	0,4	-0,002
0,5	0,30	0,4	0,036	0,5	0,80	0,5	0,002
0,5	0,30	0,5	0,037	0,5	0,80	0,6	0,006
0,5	0,30	0,6	0,038	0,5	0,80	0,7	0,010
0,5	0,30	0,7	0,039	0,5	0,80	0,8	0,013
0,5	0,30	0,8	0,040	0,5	0,80	0,9	0,016
0,5	0,30	0,9	0,041	0,5	0,80	1,0	0,019
0,5	0,30	1,0	0,043	0,5	0,90	0,1	-0,069
0,5	0,40	0,1	0,035	0,5	0,90	0,2	-0,053
0,5	0,40	0,2	0,035	0,5	0,90	0,3	-0,041
0,5	0,40	0,3	0,034	0,5	0,90	0,4	-0,030
0,5	0,40	0,4	0,034	0,5	0,90	0,5	-0,021
0,5	0,40	0,5	0,035	0,5	0,90	0,6	-0,014
0,5	0,40	0,6	0,035	0,5	0,90	0,7	-0,008
0,5	0,40	0,7	0,036	0,5	0,90	0,8	-0,002
0,5	0,40	0,8	0,037	0,5	0,90	0,9	0,002
0,5	0,40	0,9	0,039	0,5	0,90	1,0	0,007
0,5	0,40	1,0	0,040	0,5	1,00	0,1	-0,139
0,5	0,50	0,1	0,030	0,5	1,00	0,2	-0,113
0,5	0,50	0,2	0,030	0,5	1,00	0,3	-0,091
0,5	0,50	0,3	0,031	0,5	1,00	0,4	-0,073
0,5	0,50	0,4	0,031	0,5	1,00	0,5	-0,058
0,5	0,50	0,5	0,031	0,5	1,00	0,6	-0,046
0,5	0,50	0,6	0,032	0,5	1,00	0,7	-0,035
0,5	0,50	0,7	0,033	0,5	1,00	0,8	-0,026
0,5	0,50	0,8	0,034	0,5	1,00	0,9	-0,018
0,5	0,50	0,9	0,036	0,5	1,00	1,0	-0,011
0,5	0,50	1,0	0,037				

Fi = 1.200

R	LAMBDA	TETA	PRODUTIV.				
0,9	0,10	0,1	0,038	0,9	0,60	0,1	0,026
0,9	0,10	0,2	0,038	0,9	0,60	0,2	0,026
0,9	0,10	0,3	0,038	0,9	0,60	0,3	0,025
0,9	0,10	0,4	0,038	0,9	0,60	0,4	0,025
0,9	0,10	0,5	0,039	0,9	0,60	0,5	0,024
0,9	0,10	0,6	0,040	0,9	0,60	0,6	0,024
0,9	0,10	0,7	0,041	0,9	0,60	0,7	0,025
0,9	0,10	0,8	0,042	0,9	0,60	0,8	0,025
0,9	0,10	0,9	0,044	0,9	0,60	0,9	0,026
0,9	0,10	1,0	0,046	0,9	0,60	1,0	0,026
0,9	0,20	0,1	0,038	0,9	0,70	0,1	0,014
0,9	0,20	0,2	0,037	0,9	0,70	0,2	0,015
0,9	0,20	0,3	0,037	0,9	0,70	0,3	0,015
0,9	0,20	0,4	0,037	0,9	0,70	0,4	0,016
0,9	0,20	0,5	0,037	0,9	0,70	0,5	0,016
0,9	0,20	0,6	0,038	0,9	0,70	0,6	0,016
0,9	0,20	0,7	0,039	0,9	0,70	0,7	0,017
0,9	0,20	0,8	0,040	0,9	0,70	0,8	0,018
0,9	0,20	0,9	0,041	0,9	0,70	0,9	0,018
0,9	0,20	1,0	0,043	0,9	0,70	1,0	0,019
0,9	0,30	0,1	0,037	0,9	0,80	0,1	-0,007
0,9	0,30	0,2	0,037	0,9	0,80	0,2	-0,004
0,9	0,30	0,3	0,036	0,9	0,80	0,3	-0,001
0,9	0,30	0,4	0,036	0,9	0,80	0,4	0,001
0,9	0,30	0,5	0,036	0,9	0,80	0,5	0,002
0,9	0,30	0,6	0,036	0,9	0,80	0,6	0,004
0,9	0,30	0,7	0,036	0,9	0,80	0,7	0,005
0,9	0,30	0,8	0,037	0,9	0,80	0,8	0,007
0,9	0,30	0,9	0,038	0,9	0,80	0,9	0,008
0,9	0,30	1,0	0,039	0,9	0,80	1,0	0,010
0,9	0,40	0,1	0,036	0,9	0,90	0,1	-0,041
0,9	0,40	0,2	0,035	0,9	0,90	0,2	-0,034
0,9	0,40	0,3	0,034	0,9	0,90	0,3	-0,028
0,9	0,40	0,4	0,034	0,9	0,90	0,4	-0,023
0,9	0,40	0,5	0,033	0,9	0,90	0,5	-0,019
0,9	0,40	0,6	0,033	0,9	0,90	0,6	-0,015
0,9	0,40	0,7	0,034	0,9	0,90	0,7	-0,012
0,9	0,40	0,8	0,034	0,9	0,90	0,8	-0,009
0,9	0,40	0,9	0,035	0,9	0,90	0,9	-0,007
0,9	0,40	1,0	0,036	0,9	0,90	1,0	-0,004
0,9	0,50	0,1	0,033	0,9	1,00	0,1	-0,095
0,9	0,50	0,2	0,032	0,9	1,00	0,2	-0,080
0,9	0,50	0,3	0,031	0,9	1,00	0,3	-0,069
0,9	0,50	0,4	0,030	0,9	1,00	0,4	-0,059
0,9	0,50	0,5	0,030	0,9	1,00	0,5	-0,051
0,9	0,50	0,6	0,030	0,9	1,00	0,6	-0,044
0,9	0,50	0,7	0,030	0,9	1,00	0,7	-0,038
0,9	0,50	0,8	0,030	0,9	1,00	0,8	-0,033
0,9	0,50	0,9	0,031	0,9	1,00	0,9	-0,028
0,9	0,50	1,0	0,032	0,9	1,00	1,0	-0,024

Fi = 100

R	LAMBDA	TETA	PRODUTIV.				
0,2	0,1	0,1	-0,233	0,2	0,6	0,1	-0,389
0,2	0,1	0,2	-0,215	0,2	0,6	0,2	-0,375
0,2	0,1	0,3	-0,197	0,2	0,6	0,3	-0,360
0,2	0,1	0,4	-0,177	0,2	0,6	0,4	-0,345
0,2	0,1	0,5	-0,157	0,2	0,6	0,5	-0,328
0,2	0,1	0,6	-0,135	0,2	0,6	0,6	-0,311
0,2	0,1	0,7	-0,112	0,2	0,6	0,7	-0,294
0,2	0,1	0,8	-0,088	0,2	0,6	0,8	-0,275
0,2	0,1	0,9	-0,062	0,2	0,6	0,9	-0,256
0,2	0,1	1	-0,034	0,2	0,6	1	-0,235
0,2	0,2	0,1	-0,265	0,2	0,7	0,1	-0,418
0,2	0,2	0,2	-0,248	0,2	0,7	0,2	-0,405
0,2	0,2	0,3	-0,230	0,2	0,7	0,3	-0,391
0,2	0,2	0,4	-0,211	0,2	0,7	0,4	-0,376
0,2	0,2	0,5	-0,192	0,2	0,7	0,5	-0,361
0,2	0,2	0,6	-0,171	0,2	0,7	0,6	-0,345
0,2	0,2	0,7	-0,150	0,2	0,7	0,7	-0,328
0,2	0,2	0,8	-0,127	0,2	0,7	0,8	-0,311
0,2	0,2	0,9	-0,103	0,2	0,7	0,9	-0,292
0,2	0,2	1	-0,077	0,2	0,7	1	-0,273
0,2	0,3	0,1	-0,296	0,2	0,8	0,1	-0,445
0,2	0,3	0,2	-0,280	0,2	0,8	0,2	-0,433
0,2	0,3	0,3	-0,263	0,2	0,8	0,3	-0,420
0,2	0,3	0,4	-0,245	0,2	0,8	0,4	-0,407
0,2	0,3	0,5	-0,226	0,2	0,8	0,5	-0,392
0,2	0,3	0,6	-0,207	0,2	0,8	0,6	-0,378
0,2	0,3	0,7	-0,186	0,2	0,8	0,7	-0,362
0,2	0,3	0,8	-0,165	0,2	0,8	0,8	-0,345
0,2	0,3	0,9	-0,142	0,2	0,8	0,9	-0,328
0,2	0,3	1	-0,118	0,2	0,8	1	-0,310
0,2	0,4	0,1	-0,328	0,2	0,9	0,1	-0,469
0,2	0,4	0,2	-0,312	0,2	0,9	0,2	-0,458
0,2	0,4	0,3	-0,296	0,2	0,9	0,3	-0,447
0,2	0,4	0,4	-0,279	0,2	0,9	0,4	-0,435
0,2	0,4	0,5	-0,261	0,2	0,9	0,5	-0,422
0,2	0,4	0,6	-0,242	0,2	0,9	0,6	-0,408
0,2	0,4	0,7	-0,222	0,2	0,9	0,7	-0,394
0,2	0,4	0,8	-0,202	0,2	0,9	0,8	-0,379
0,2	0,4	0,9	-0,180	0,2	0,9	0,9	-0,363
0,2	0,4	1	-0,158	0,2	0,9	1	-0,345
0,2	0,5	0,1	-0,359	0,2	1	0,1	-0,490
0,2	0,5	0,2	-0,344	0,2	1	0,2	-0,481
0,2	0,5	0,3	-0,328	0,2	1	0,3	-0,471
0,2	0,5	0,4	-0,312	0,2	1	0,4	-0,461
0,2	0,5	0,5	-0,295	0,2	1	0,5	-0,449
0,2	0,5	0,6	-0,277	0,2	1	0,6	-0,437
0,2	0,5	0,7	-0,258	0,2	1	0,7	-0,424
0,2	0,5	0,8	-0,239	0,2	1	0,8	-0,410
0,2	0,5	0,9	-0,218	0,2	1	0,9	-0,395
0,2	0,5	1	-0,197	0,2	1	1	-0,380

Fi = 100

R	LAMBDA	TETA	PRODUTIV.				
0,5	0,1	0,1	-0,234	0,5	0,6	0,1	-0,382
0,5	0,1	0,2	-0,221	0,5	0,6	0,2	-0,370
0,5	0,1	0,3	-0,206	0,5	0,6	0,3	-0,358
0,5	0,1	0,4	-0,191	0,5	0,6	0,4	-0,345
0,5	0,1	0,5	-0,176	0,5	0,6	0,5	-0,332
0,5	0,1	0,6	-0,159	0,5	0,6	0,6	-0,319
0,5	0,1	0,7	-0,142	0,5	0,6	0,7	-0,305
0,5	0,1	0,8	-0,125	0,5	0,6	0,8	-0,291
0,5	0,1	0,9	-0,106	0,5	0,6	0,9	-0,276
0,5	0,1	1	-0,086	0,5	0,6	1	-0,261
0,5	0,2	0,1	-0,264	0,5	0,7	0,1	-0,410
0,5	0,2	0,2	-0,250	0,5	0,7	0,2	-0,399
0,5	0,2	0,3	-0,236	0,5	0,7	0,3	-0,387
0,5	0,2	0,4	-0,222	0,5	0,7	0,4	-0,375
0,5	0,2	0,5	-0,207	0,5	0,7	0,5	-0,363
0,5	0,2	0,6	-0,192	0,5	0,7	0,6	-0,350
0,5	0,2	0,7	-0,175	0,5	0,7	0,7	-0,337
0,5	0,2	0,8	-0,159	0,5	0,7	0,8	-0,323
0,5	0,2	0,9	-0,141	0,5	0,7	0,9	-0,309
0,5	0,2	1	-0,122	0,5	0,7	1	-0,294
0,5	0,3	0,1	-0,294	0,5	0,8	0,1	-0,436
0,5	0,3	0,2	-0,280	0,5	0,8	0,2	-0,426
0,5	0,3	0,3	-0,267	0,5	0,8	0,3	-0,415
0,5	0,3	0,4	-0,253	0,5	0,8	0,4	-0,404
0,5	0,3	0,5	-0,238	0,5	0,8	0,5	-0,392
0,5	0,3	0,6	-0,223	0,5	0,8	0,6	-0,380
0,5	0,3	0,7	-0,208	0,5	0,8	0,7	-0,368
0,5	0,3	0,8	-0,192	0,5	0,8	0,8	-0,355
0,5	0,3	0,9	-0,175	0,5	0,8	0,9	-0,341
0,5	0,3	1	-0,158	0,5	0,8	1	-0,328
0,5	0,4	0,1	-0,323	0,5	0,9	0,1	-0,460
0,5	0,4	0,2	-0,310	0,5	0,9	0,2	-0,451
0,5	0,4	0,3	-0,297	0,5	0,9	0,3	-0,441
0,5	0,4	0,4	-0,284	0,5	0,9	0,4	-0,431
0,5	0,4	0,5	-0,270	0,5	0,9	0,5	-0,420
0,5	0,4	0,6	-0,255	0,5	0,9	0,6	-0,409
0,5	0,4	0,7	-0,241	0,5	0,9	0,7	-0,398
0,5	0,4	0,8	-0,225	0,5	0,9	0,8	-0,385
0,5	0,4	0,9	-0,209	0,5	0,9	0,9	-0,373
0,5	0,4	1	-0,192	0,5	0,9	1	-0,360
0,5	0,5	0,1	-0,353	0,5	1	0,1	-0,482
0,5	0,5	0,2	-0,340	0,5	1	0,2	-0,474
0,5	0,5	0,3	-0,328	0,5	1	0,3	-0,465
0,5	0,5	0,4	-0,315	0,5	1	0,4	-0,456
0,5	0,5	0,5	-0,301	0,5	1	0,5	-0,446
0,5	0,5	0,6	-0,287	0,5	1	0,6	-0,436
0,5	0,5	0,7	-0,273	0,5	1	0,7	-0,426
0,5	0,5	0,8	-0,258	0,5	1	0,8	-0,414
0,5	0,5	0,9	-0,243	0,5	1	0,9	-0,403
0,5	0,5	1	-0,227	0,5	1	1	-0,391

Fi = 100

R	LAMBDA	TETA	PRODUTIV.				
0,9	0,1	0,1	-0,236	0,9	0,6	0,1	-0,371
0,9	0,1	0,2	-0,227	0,9	0,6	0,2	-0,363
0,9	0,1	0,3	-0,218	0,9	0,6	0,3	-0,355
0,9	0,1	0,4	-0,209	0,9	0,6	0,4	-0,346
0,9	0,1	0,5	-0,199	0,9	0,6	0,5	-0,337
0,9	0,1	0,6	-0,190	0,9	0,6	0,6	-0,328
0,9	0,1	0,7	-0,180	0,9	0,6	0,7	-0,320
0,9	0,1	0,8	-0,169	0,9	0,6	0,8	-0,311
0,9	0,1	0,9	-0,159	0,9	0,6	0,9	-0,301
0,9	0,1	1	-0,148	0,9	0,6	1	-0,292
0,9	0,2	0,1	-0,263	0,9	0,7	0,1	-0,398
0,9	0,2	0,2	-0,254	0,9	0,7	0,2	-0,390
0,9	0,2	0,3	-0,245	0,9	0,7	0,3	-0,382
0,9	0,2	0,4	-0,236	0,9	0,7	0,4	-0,373
0,9	0,2	0,5	-0,226	0,9	0,7	0,5	-0,365
0,9	0,2	0,6	-0,217	0,9	0,7	0,6	-0,356
0,9	0,2	0,7	-0,207	0,9	0,7	0,7	-0,348
0,9	0,2	0,8	-0,197	0,9	0,7	0,8	-0,339
0,9	0,2	0,9	-0,187	0,9	0,7	0,9	-0,330
0,9	0,2	1	-0,177	0,9	0,7	1	-0,321
0,9	0,3	0,1	-0,290	0,9	0,8	0,1	-0,424
0,9	0,3	0,2	-0,281	0,9	0,8	0,2	-0,416
0,9	0,3	0,3	-0,272	0,9	0,8	0,3	-0,408
0,9	0,3	0,4	-0,263	0,9	0,8	0,4	-0,400
0,9	0,3	0,5	-0,254	0,9	0,8	0,5	-0,392
0,9	0,3	0,6	-0,244	0,9	0,8	0,6	-0,384
0,9	0,3	0,7	-0,235	0,9	0,8	0,7	-0,375
0,9	0,3	0,8	-0,225	0,9	0,8	0,8	-0,367
0,9	0,3	0,9	-0,216	0,9	0,8	0,9	-0,358
0,9	0,3	1	-0,206	0,9	0,8	1	-0,349
0,9	0,4	0,1	-0,317	0,9	0,9	0,1	-0,448
0,9	0,4	0,2	-0,308	0,9	0,9	0,2	-0,441
0,9	0,4	0,3	-0,299	0,9	0,9	0,3	-0,433
0,9	0,4	0,4	-0,290	0,9	0,9	0,4	-0,426
0,9	0,4	0,5	-0,281	0,9	0,9	0,5	-0,418
0,9	0,4	0,6	-0,272	0,9	0,9	0,6	-0,410
0,9	0,4	0,7	-0,263	0,9	0,9	0,7	-0,402
0,9	0,4	0,8	-0,254	0,9	0,9	0,8	-0,394
0,9	0,4	0,9	-0,244	0,9	0,9	0,9	-0,386
0,9	0,4	1	-0,234	0,9	0,9	1	-0,377
0,9	0,5	0,1	-0,344	0,9	1	0,1	-0,470
0,9	0,5	0,2	-0,336	0,9	1	0,2	-0,464
0,9	0,5	0,3	-0,327	0,9	1	0,3	-0,457
0,9	0,5	0,4	-0,318	0,9	1	0,4	-0,450
0,9	0,5	0,5	-0,309	0,9	1	0,5	-0,443
0,9	0,5	0,6	-0,300	0,9	1	0,6	-0,435
0,9	0,5	0,7	-0,291	0,9	1	0,7	-0,428
0,9	0,5	0,8	-0,282	0,9	1	0,8	-0,420
0,9	0,5	0,9	-0,273	0,9	1	0,9	-0,412
0,9	0,5	1	-0,263	0,9	1	1	-0,404

ANEXO 4

CÁLCULO DA PRODUTIVIDADE EM FUNÇÃO DE e , COM O MATLAB

```
>> syms a b c e eh el f fh fl R L T m k mh kh ml kl Fi
>> m= (e*(c-e*b)+2*f)/(4*b*f-(c-e*b)^2);
>> mh= (eh*(c-eh*b)+2*fh)/(4*b*fh-(c-eh*b)^2);
>> ml= (el*(c-el*b)+2*fl)/(4*b*fl-(c-el*b)^2);
>> k= (c-e*b)/(4*b*f-(c-e*b)^2);
>> kh= (c-eh*b)/(4*b*fh-(c-eh*b)^2);
>> kl= (c-el*b)/(4*b*fl-(c-el*b)^2);
>> M= R*mh+(1-R)*ml;
>> W= R*kh+(1-R)*kl;
>> X= (1+b*L*M-c*T*W)/(1+b*L*m-c*T*k);
>> Z1= 2*b*f*(2*X-M*L/m)-(c-e*b)*(c*(X-W*T/k)-b*e*(X-M*L/m));

>> ETAL = (2*a^2*b*f*(e*(c-e*b)+2*f))/((Z1^2*Fi)/X^2+f*a^2*(c^2-b^2*e^2));

>> a=100;
>> b=5;
>> c=10;
>> f=10;
>> eh=1.2;
>> el=0.8;
>> fh=10.5;
>> fl=7.5;

>> Fi = 1200
>> Fi = 100
```

Fi = 1.200

R	LAMBDA	TETA	PRODUTIV.	0,20	0,5	1,000	0,022	
0,20		0,1	0,100	0,022	0,20	0,6	0,100	0,019
0,20		0,1	0,200	0,021	0,20	0,6	0,200	0,019
0,20		0,1	0,300	0,021	0,20	0,6	0,300	0,019
0,20		0,1	0,400	0,021	0,20	0,6	0,400	0,019
0,20		0,1	0,500	0,021	0,20	0,6	0,500	0,019
0,20		0,1	0,600	0,021	0,20	0,6	0,600	0,020
0,20		0,1	0,700	0,021	0,20	0,6	0,700	0,020
0,20		0,1	0,800	0,021	0,20	0,6	0,800	0,020
0,20		0,1	0,900	0,022	0,20	0,6	0,900	0,021
0,20		0,1	1,000	0,022	0,20	0,6	1,000	0,021
0,20		0,2	0,100	0,023	0,20	0,7	0,100	0,013
0,20		0,2	0,200	0,022	0,20	0,7	0,200	0,014
0,20		0,2	0,300	0,022	0,20	0,7	0,300	0,015
0,20		0,2	0,400	0,021	0,20	0,7	0,400	0,016
0,20		0,2	0,500	0,021	0,20	0,7	0,500	0,016
0,20		0,2	0,600	0,021	0,20	0,7	0,600	0,017
0,20		0,2	0,700	0,021	0,20	0,7	0,700	0,018
0,20		0,2	0,800	0,022	0,20	0,7	0,800	0,018
0,20		0,2	0,900	0,022	0,20	0,7	0,900	0,019
0,20		0,2	1,000	0,022	0,20	0,7	1,000	0,020
0,20		0,3	0,100	0,023	0,20	0,8	0,100	0,000
0,20		0,3	0,200	0,023	0,20	0,8	0,200	0,004
0,20		0,3	0,300	0,022	0,20	0,8	0,300	0,007
0,20		0,3	0,400	0,022	0,20	0,8	0,400	0,009
0,20		0,3	0,500	0,021	0,20	0,8	0,500	0,011
0,20		0,3	0,600	0,021	0,20	0,8	0,600	0,012
0,20		0,3	0,700	0,021	0,20	0,8	0,700	0,014
0,20		0,3	0,800	0,022	0,20	0,8	0,800	0,015
0,20		0,3	0,900	0,022	0,20	0,8	0,900	0,016
0,20		0,3	1,000	0,022	0,20	0,8	1,000	0,017
0,20		0,4	0,100	0,024	0,20	0,9	0,100	-0,021
0,20		0,4	0,200	0,023	0,20	0,9	0,200	-0,013
0,20		0,4	0,300	0,022	0,20	0,9	0,300	-0,008
0,20		0,4	0,400	0,022	0,20	0,9	0,400	-0,003
0,20		0,4	0,500	0,021	0,20	0,9	0,500	0,001
0,20		0,4	0,600	0,021	0,20	0,9	0,600	0,004
0,20		0,4	0,700	0,021	0,20	0,9	0,700	0,007
0,20		0,4	0,800	0,021	0,20	0,9	0,800	0,009
0,20		0,4	0,900	0,022	0,20	0,9	0,900	0,011
0,20		0,4	1,000	0,022	0,20	0,9	1,000	0,013
0,20		0,5	0,100	0,023	0,20	1,0	0,100	-0,053
0,20		0,5	0,200	0,022	0,20	1,0	0,200	-0,041
0,20		0,5	0,300	0,021	0,20	1,0	0,300	-0,031
0,20		0,5	0,400	0,021	0,20	1,0	0,400	-0,022
0,20		0,5	0,500	0,021	0,20	1,0	0,500	-0,015
0,20		0,5	0,600	0,021	0,20	1,0	0,600	-0,010
0,20		0,5	0,700	0,021	0,20	1,0	0,700	-0,005
0,20		0,5	0,800	0,021	0,20	1,0	0,800	-0,001
0,20		0,5	0,900	0,021	0,20	1,0	0,900	0,003

Fi = 1.200

R	LAMBDA	TETA	PRODUTIV.				
0,50	0,1	0,100	0,022	0,50	0,6	0,100	0,021
0,50	0,1	0,200	0,021	0,50	0,6	0,200	0,020
0,50	0,1	0,300	0,021	0,50	0,6	0,300	0,020
0,50	0,1	0,400	0,021	0,50	0,6	0,400	0,019
0,50	0,1	0,500	0,021	0,50	0,6	0,500	0,019
0,50	0,1	0,600	0,021	0,50	0,6	0,600	0,019
0,50	0,1	0,700	0,022	0,50	0,6	0,700	0,019
0,50	0,1	0,800	0,022	0,50	0,6	0,800	0,019
0,50	0,1	0,900	0,023	0,50	0,6	0,900	0,019
0,50	0,1	1,000	0,024	0,50	0,6	1,000	0,020
0,50	0,2	0,100	0,023	0,50	0,7	0,100	0,016
0,50	0,2	0,200	0,022	0,50	0,7	0,200	0,016
0,50	0,2	0,300	0,022	0,50	0,7	0,300	0,016
0,50	0,2	0,400	0,021	0,50	0,7	0,400	0,016
0,50	0,2	0,500	0,021	0,50	0,7	0,500	0,016
0,50	0,2	0,600	0,021	0,50	0,7	0,600	0,016
0,50	0,2	0,700	0,022	0,50	0,7	0,700	0,017
0,50	0,2	0,800	0,022	0,50	0,7	0,800	0,017
0,50	0,2	0,900	0,022	0,50	0,7	0,900	0,017
0,50	0,2	1,000	0,023	0,50	0,7	1,000	0,018
0,50	0,3	0,100	0,023	0,50	0,8	0,100	0,006
0,50	0,3	0,200	0,023	0,50	0,8	0,200	0,007
0,50	0,3	0,300	0,022	0,50	0,8	0,300	0,009
0,50	0,3	0,400	0,022	0,50	0,8	0,400	0,010
0,50	0,3	0,500	0,021	0,50	0,8	0,500	0,011
0,50	0,3	0,600	0,021	0,50	0,8	0,600	0,012
0,50	0,3	0,700	0,021	0,50	0,8	0,700	0,012
0,50	0,3	0,800	0,022	0,50	0,8	0,800	0,013
0,50	0,3	0,900	0,022	0,50	0,8	0,900	0,014
0,50	0,3	1,000	0,023	0,50	0,8	1,000	0,015
0,50	0,4	0,100	0,024	0,50	0,9	0,100	-0,012
0,50	0,4	0,200	0,023	0,50	0,9	0,200	-0,007
0,50	0,4	0,300	0,022	0,50	0,9	0,300	-0,004
0,50	0,4	0,400	0,022	0,50	0,9	0,400	-0,001
0,50	0,4	0,500	0,021	0,50	0,9	0,500	0,002
0,50	0,4	0,600	0,021	0,50	0,9	0,600	0,004
0,50	0,4	0,700	0,021	0,50	0,9	0,700	0,005
0,50	0,4	0,800	0,021	0,50	0,9	0,800	0,007
0,50	0,4	0,900	0,022	0,50	0,9	0,900	0,008
0,50	0,4	1,000	0,022	0,50	0,9	1,000	0,010
0,50	0,5	0,100	0,023	0,50	1,0	0,100	-0,039
0,50	0,5	0,200	0,022	0,50	1,0	0,200	-0,030
0,50	0,5	0,300	0,021	0,50	1,0	0,300	-0,023
0,50	0,5	0,400	0,021	0,50	1,0	0,400	-0,018
0,50	0,5	0,500	0,021	0,50	1,0	0,500	-0,013
0,50	0,5	0,600	0,020	0,50	1,0	0,600	-0,009
0,50	0,5	0,700	0,020	0,50	1,0	0,700	-0,006
0,50	0,5	0,800	0,021	0,50	1,0	0,800	-0,003
0,50	0,5	0,900	0,021	0,50	1,0	0,900	0,000
0,50	0,5	1,000	0,021	0,50	1,0	1,000	0,002

Fi = 1.200

R	LAMBDA	TETA	PRODUTIV.	0,90	0,5	1,000	0,019
0,90		0,1	0,100	0,022	0,90	0,6	0,022
0,90		0,1	0,200	0,022	0,90	0,6	0,021
0,90		0,1	0,300	0,021	0,90	0,6	0,020
0,90		0,1	0,400	0,021	0,90	0,6	0,019
0,90		0,1	0,500	0,021	0,90	0,6	0,019
0,90		0,1	0,600	0,022	0,90	0,6	0,018
0,90		0,1	0,700	0,022	0,90	0,6	0,018
0,90		0,1	0,800	0,022	0,90	0,6	0,018
0,90		0,1	0,900	0,023	0,90	0,6	0,017
0,90		0,1	1,000	0,024	0,90	0,6	0,018
0,90		0,2	0,100	0,023	0,90	0,7	0,019
0,90		0,2	0,200	0,022	0,90	0,7	0,018
0,90		0,2	0,300	0,022	0,90	0,7	0,017
0,90		0,2	0,400	0,021	0,90	0,7	0,016
0,90		0,2	0,500	0,021	0,90	0,7	0,016
0,90		0,2	0,600	0,021	0,90	0,7	0,015
0,90		0,2	0,700	0,022	0,90	0,7	0,015
0,90		0,2	0,800	0,022	0,90	0,7	0,015
0,90		0,2	0,900	0,022	0,90	0,7	0,015
0,90		0,2	1,000	0,023	0,90	0,7	0,015
0,90		0,3	0,100	0,023	0,90	0,8	0,012
0,90		0,3	0,200	0,023	0,90	0,8	0,012
0,90		0,3	0,300	0,022	0,90	0,8	0,011
0,90		0,3	0,400	0,022	0,90	0,8	0,011
0,90		0,3	0,500	0,021	0,90	0,8	0,011
0,90		0,3	0,600	0,021	0,90	0,8	0,011
0,90		0,3	0,700	0,021	0,90	0,8	0,011
0,90		0,3	0,800	0,021	0,90	0,8	0,011
0,90		0,3	0,900	0,021	0,90	0,8	0,011
0,90		0,3	1,000	0,022	0,90	0,8	0,011
0,90		0,4	0,100	0,024	0,90	0,9	-0,001
0,90		0,4	0,200	0,023	0,90	0,9	0,001
0,90		0,4	0,300	0,022	0,90	0,9	0,002
0,90		0,4	0,400	0,021	0,90	0,9	0,002
0,90		0,4	0,500	0,021	0,90	0,9	0,003
0,90		0,4	0,600	0,021	0,90	0,9	0,003
0,90		0,4	0,700	0,020	0,90	0,9	0,004
0,90		0,4	0,800	0,020	0,90	0,9	0,004
0,90		0,4	0,900	0,021	0,90	0,9	0,005
0,90		0,4	1,000	0,021	0,90	0,9	0,005
0,90		0,5	0,100	0,024	0,90	1,0	-0,021
0,90		0,5	0,200	0,022	0,90	1,0	-0,017
0,90		0,5	0,300	0,021	0,90	1,0	-0,014
0,90		0,5	0,400	0,021	0,90	1,0	-0,012
0,90		0,5	0,500	0,020	0,90	1,0	-0,010
0,90		0,5	0,600	0,020	0,90	1,0	-0,008
0,90		0,5	0,700	0,019	0,90	1,0	-0,007
0,90		0,5	0,800	0,019	0,90	1,0	-0,006
0,90		0,5	0,900	0,019	0,90	1,0	-0,004

Fi = 100

R	LAMBDA	TETA	PRODUTIV.	0,2	0,500	1	2,234
0,2	0,100	0,1	2,343	0,2	0,600	0,1	2,807
0,2	0,100	0,2	2,286	0,2	0,600	0,2	2,764
0,2	0,100	0,3	2,228	0,2	0,600	0,3	2,719
0,2	0,100	0,4	2,168	0,2	0,600	0,4	2,671
0,2	0,100	0,5	2,106	0,2	0,600	0,5	2,621
0,2	0,100	0,6	2,043	0,2	0,600	0,6	2,570
0,2	0,100	0,7	1,978	0,2	0,600	0,7	2,516
0,2	0,100	0,8	1,911	0,2	0,600	0,8	2,460
0,2	0,100	0,9	1,841	0,2	0,600	0,9	2,403
0,2	0,100	1	1,769	0,2	0,600	1	2,343
0,2	0,200	0,1	2,443	0,2	0,700	0,1	2,884
0,2	0,200	0,2	2,388	0,2	0,700	0,2	2,845
0,2	0,200	0,3	2,332	0,2	0,700	0,3	2,803
0,2	0,200	0,4	2,274	0,2	0,700	0,4	2,760
0,2	0,200	0,5	2,214	0,2	0,700	0,5	2,713
0,2	0,200	0,6	2,153	0,2	0,700	0,6	2,665
0,2	0,200	0,7	2,090	0,2	0,700	0,7	2,614
0,2	0,200	0,8	2,025	0,2	0,700	0,8	2,562
0,2	0,200	0,9	1,958	0,2	0,700	0,9	2,507
0,2	0,200	1	1,889	0,2	0,700	1	2,450
0,2	0,300	0,1	2,541	0,2	0,800	0,1	2,952
0,2	0,300	0,2	2,488	0,2	0,800	0,2	2,918
0,2	0,300	0,3	2,434	0,2	0,800	0,3	2,881
0,2	0,300	0,4	2,378	0,2	0,800	0,4	2,841
0,2	0,300	0,5	2,320	0,2	0,800	0,5	2,799
0,2	0,300	0,6	2,261	0,2	0,800	0,6	2,755
0,2	0,300	0,7	2,200	0,2	0,800	0,7	2,708
0,2	0,300	0,8	2,137	0,2	0,800	0,8	2,659
0,2	0,300	0,9	2,073	0,2	0,800	0,9	2,607
0,2	0,300	1	2,007	0,2	0,800	1	2,554
0,2	0,400	0,1	2,635	0,2	0,900	0,1	3,010
0,2	0,400	0,2	2,585	0,2	0,900	0,2	2,981
0,2	0,400	0,3	2,533	0,2	0,900	0,3	2,950
0,2	0,400	0,4	2,479	0,2	0,900	0,4	2,915
0,2	0,400	0,5	2,424	0,2	0,900	0,5	2,878
0,2	0,400	0,6	2,367	0,2	0,900	0,6	2,838
0,2	0,400	0,7	2,308	0,2	0,900	0,7	2,795
0,2	0,400	0,8	2,247	0,2	0,900	0,8	2,750
0,2	0,400	0,9	2,185	0,2	0,900	0,9	2,702
0,2	0,400	1	2,121	0,2	0,900	1	2,652
0,2	0,500	0,1	2,724	0,2	1,000	0,1	3,058
0,2	0,500	0,2	2,677	0,2	1,000	0,2	3,035
0,2	0,500	0,3	2,628	0,2	1,000	0,3	3,009
0,2	0,500	0,4	2,577	0,2	1,000	0,4	2,980
0,2	0,500	0,5	2,524	0,2	1,000	0,5	2,948
0,2	0,500	0,6	2,470	0,2	1,000	0,6	2,912
0,2	0,500	0,7	2,413	0,2	1,000	0,7	2,875
0,2	0,500	0,8	2,355	0,2	1,000	0,8	2,834
0,2	0,500	0,9	2,295	0,2	1,000	0,9	2,790

Fi = 100

R	LAMBDA	TETA PRODUTIV.					
0,5	0,100	0,1	2,347	0,5	0,600	0,1	2,788
0,5	0,100	0,2	2,302	0,5	0,600	0,2	2,751
0,5	0,100	0,3	2,257	0,5	0,600	0,3	2,713
0,5	0,100	0,4	2,212	0,5	0,600	0,4	2,673
0,5	0,100	0,5	2,166	0,5	0,600	0,5	2,632
0,5	0,100	0,6	2,121	0,5	0,600	0,6	2,590
0,5	0,100	0,7	2,075	0,5	0,600	0,7	2,547
0,5	0,100	0,8	2,029	0,5	0,600	0,8	2,504
0,5	0,100	0,9	1,983	0,5	0,600	0,9	2,460
0,5	0,100	1	1,936	0,5	0,600	1	2,415
0,5	0,200	0,1	2,440	0,5	0,700	0,1	2,864
0,5	0,200	0,2	2,396	0,5	0,700	0,2	2,829
0,5	0,200	0,3	2,352	0,5	0,700	0,3	2,794
0,5	0,200	0,4	2,307	0,5	0,700	0,4	2,756
0,5	0,200	0,5	2,261	0,5	0,700	0,5	2,718
0,5	0,200	0,6	2,216	0,5	0,700	0,6	2,678
0,5	0,200	0,7	2,170	0,5	0,700	0,7	2,637
0,5	0,200	0,8	2,124	0,5	0,700	0,8	2,595
0,5	0,200	0,9	2,078	0,5	0,700	0,9	2,553
0,5	0,200	1	2,031	0,5	0,700	1	2,509
0,5	0,300	0,1	2,532	0,5	0,800	0,1	2,932
0,5	0,300	0,2	2,489	0,5	0,800	0,2	2,901
0,5	0,300	0,3	2,445	0,5	0,800	0,3	2,869
0,5	0,300	0,4	2,401	0,5	0,800	0,4	2,834
0,5	0,300	0,5	2,356	0,5	0,800	0,5	2,799
0,5	0,300	0,6	2,311	0,5	0,800	0,6	2,762
0,5	0,300	0,7	2,265	0,5	0,800	0,7	2,723
0,5	0,300	0,8	2,220	0,5	0,800	0,8	2,683
0,5	0,300	0,9	2,173	0,5	0,800	0,9	2,642
0,5	0,300	1	2,127	0,5	0,800	1	2,601
0,5	0,400	0,1	2,621	0,5	0,900	0,1	2,991
0,5	0,400	0,2	2,580	0,5	0,900	0,2	2,965
0,5	0,400	0,3	2,537	0,5	0,900	0,3	2,936
0,5	0,400	0,4	2,494	0,5	0,900	0,4	2,906
0,5	0,400	0,5	2,450	0,5	0,900	0,5	2,873
0,5	0,400	0,6	2,406	0,5	0,900	0,6	2,839
0,5	0,400	0,7	2,361	0,5	0,900	0,7	2,804
0,5	0,400	0,8	2,315	0,5	0,900	0,8	2,767
0,5	0,400	0,9	2,269	0,5	0,900	0,9	2,728
0,5	0,400	1	2,223	0,5	0,900	1	2,689
0,5	0,500	0,1	2,707	0,5	1,000	0,1	3,041
0,5	0,500	0,2	2,667	0,5	1,000	0,2	3,020
0,5	0,500	0,3	2,627	0,5	1,000	0,3	2,995
0,5	0,500	0,4	2,585	0,5	1,000	0,4	2,969
0,5	0,500	0,5	2,542	0,5	1,000	0,5	2,941
0,5	0,500	0,6	2,499	0,5	1,000	0,6	2,910
0,5	0,500	0,7	2,455	0,5	1,000	0,7	2,878
0,5	0,500	0,8	2,410	0,5	1,000	0,8	2,845
0,5	0,500	0,9	2,365	0,5	1,000	0,9	2,809
0,5	0,500	1	2,320	0,5	1,000	1	2,772

Fi = 100

R	LAMBDA	TETA	PRODUTIV.				
0,9	0,100	0,1	2,353	0,9	0,600	0,1	2,761
0,9	0,100	0,2	2,323	0,9	0,600	0,2	2,733
0,9	0,100	0,3	2,295	0,9	0,600	0,3	2,704
0,9	0,100	0,4	2,267	0,9	0,600	0,4	2,675
0,9	0,100	0,5	2,239	0,9	0,600	0,5	2,645
0,9	0,100	0,6	2,212	0,9	0,600	0,6	2,616
0,9	0,100	0,7	2,186	0,9	0,600	0,7	2,587
0,9	0,100	0,8	2,161	0,9	0,600	0,8	2,557
0,9	0,100	0,9	2,137	0,9	0,600	0,9	2,528
0,9	0,100	1	2,113	0,9	0,600	1	2,499
0,9	0,200	0,1	2,436	0,9	0,700	0,1	2,834
0,9	0,200	0,2	2,407	0,9	0,700	0,2	2,807
0,9	0,200	0,3	2,377	0,9	0,700	0,3	2,780
0,9	0,200	0,4	2,348	0,9	0,700	0,4	2,752
0,9	0,200	0,5	2,319	0,9	0,700	0,5	2,723
0,9	0,200	0,6	2,291	0,9	0,700	0,6	2,695
0,9	0,200	0,7	2,264	0,9	0,700	0,7	2,666
0,9	0,200	0,8	2,237	0,9	0,700	0,8	2,637
0,9	0,200	0,9	2,211	0,9	0,700	0,9	2,608
0,9	0,200	1	2,186	0,9	0,700	1	2,578
0,9	0,300	0,1	2,520	0,9	0,800	0,1	2,902
0,9	0,300	0,2	2,490	0,9	0,800	0,2	2,877
0,9	0,300	0,3	2,460	0,9	0,800	0,3	2,851
0,9	0,300	0,4	2,430	0,9	0,800	0,4	2,825
0,9	0,300	0,5	2,401	0,9	0,800	0,5	2,798
0,9	0,300	0,6	2,372	0,9	0,800	0,6	2,770
0,9	0,300	0,7	2,344	0,9	0,800	0,7	2,743
0,9	0,300	0,8	2,316	0,9	0,800	0,8	2,714
0,9	0,300	0,9	2,288	0,9	0,800	0,9	2,686
0,9	0,300	1	2,261	0,9	0,800	1	2,657
0,9	0,400	0,1	2,603	0,9	0,900	0,1	2,963
0,9	0,400	0,2	2,573	0,9	0,900	0,2	2,940
0,9	0,400	0,3	2,543	0,9	0,900	0,3	2,917
0,9	0,400	0,4	2,513	0,9	0,900	0,4	2,893
0,9	0,400	0,5	2,483	0,9	0,900	0,5	2,868
0,9	0,400	0,6	2,454	0,9	0,900	0,6	2,842
0,9	0,400	0,7	2,424	0,9	0,900	0,7	2,815
0,9	0,400	0,8	2,396	0,9	0,900	0,8	2,788
0,9	0,400	0,9	2,367	0,9	0,900	0,9	2,761
0,9	0,400	1	2,339	0,9	0,900	1	2,733
0,9	0,500	0,1	2,684	0,9	1,000	0,1	3,015
0,9	0,500	0,2	2,654	0,9	1,000	0,2	2,996
0,9	0,500	0,3	2,625	0,9	1,000	0,3	2,976
0,9	0,500	0,4	2,595	0,9	1,000	0,4	2,954
0,9	0,500	0,5	2,565	0,9	1,000	0,5	2,931
0,9	0,500	0,6	2,535	0,9	1,000	0,6	2,908
0,9	0,500	0,7	2,506	0,9	1,000	0,7	2,883
0,9	0,500	0,8	2,476	0,9	1,000	0,8	2,858
0,9	0,500	0,9	2,447	0,9	1,000	0,9	2,832
0,9	0,500	1	2,419	0,9	1,000	1	2,806