



Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em

Computação Aplicada

Mestrado Acadêmico

Robermilton Sant'Anna de Oliveira Rodrigues

Aplicação de Metaheurísticas para Parametrização do Módulo IPTV da
Plataforma de Convergência Digital - Digiconv

São Leopoldo, 2016

ROBERMILTON SANT'ANNA DE OLIVEIRA RODRIGUES

**APLICAÇÃO DE METAHEURÍSTICAS PARA PARAMETRIZAÇÃO DO MÓDULO
IPTV DA PLATAFORMA DE CONVERGÊNCIA DIGITAL - DIGICONV**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção de título de Mestre, pelo Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientador(a):

Prof.Dr.Arthur Tórgo Gómez

São Leopoldo

2016

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca do Instituto Federal de Roraima- IFRR)

R696a Rodrigues, Robermilton Sant'Anna de Oliveira Rodrigues.

Aplicação de metaheurísticas para parametrização do módulo IPTV da plataforma de convergência digital - DIGICONV / Robermilton Sant'Anna de Oliveira Rodrigues. – São Leopoldo, 2016.

119f. : il.; 30 cm (algumas color.)

Orientador: Prof. Dr. Arthur Tórgo Gómez.

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos UNISINOS. Programa Interdisciplinar de Pós Graduação em Computação Aplicada, 2016.

Bibliografia: f.117-119.

1. IPTV. 2. Metaheurística. 3. Algoritmo Genético. 4. Busca Tabu.
I. Título. II. Gómez, Arthur Tórgo (orientador).

CDD-006.31

Robermilton Sant'Anna de Oliveira Rodrigues

**Aplicação de Metaheurísticas para Parametrização do Módulo
IPTV da Plataforma de Convergência Digital - Digiconv**

Dissertação apresentada à Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Computação Aplicada.

Aprovado em ____ de _____ de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Orientador Dr. Arthur Tórgo Gómez
Universidade do Vale dos Sinos - UNISINOS

Dr. José Vicente
Universidade do Vale dos Sinos - UNISINOS

Dr. Leonardo Dagnino Chiwiacowsky
Universidade de Caxias do Sul - UCS

Prof. Dr. Arthur Tórgo Gómez (Orientador)

Visto e permitida a impressão
São Leopoldo,

Prof. Dr. Sandro José Rigo
Coordenador PPG em Computação Aplicada

AGRADECIMENTOS

Este trabalho só foi possível porque teve a colaboração de diversas pessoas, dentre as quais deixo minha dedicatória e meus sinceros agradecimentos ...

Primeiramente a Deus, senhor da minha vida e Luz do meu caminho.

... a minha querida e amada esposa, Gennifer Rodrigues, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando e ajudando, nos momentos de maiores dificuldades;

... a minha amada mãe, Dina Sant´Anna, pela confiança e pelo apoio incondicional depositado em mim;

... ao meu irmão, Dr. Robermilson Sant´Anna, que mesmo de longe me deu total apoio e que sempre acreditou em mim.

...ao meu orientador, Dr. Arthur Tórgo Gómez, pela paciência, pelos ensinamentos, e por sempre estar presente e disposto a me orientar no que fosse preciso;

...aos meus amigos Soon Ho, Fábio Santos e Ville Caribas que me ajudaram na formulação dos algoritmos;

...e a todos que me ajudaram de forma direta ou indiretamente, para que hoje eu pudesse ter concluído este trabalho.

RESUMO

Com o advento da Internet, aliado à constante evolução das tecnologias de distribuição de Banda Larga, juntamente com um público cada vez mais exigente, surge o IPTV (*Internet Protocol Television*). Atualmente, existem várias pesquisas sobre como melhorar sua distribuição de conteúdo, através dos mais diversos dispositivos disponíveis no mercado, tais como: TV Digital, *Tablets* e *Smartphones*. Este trabalho apresenta uma ferramenta computacional, baseada em um modelo matemático, para otimização dos parâmetros do módulo IPTV de uma Plataforma de Convergência Digital (DIGICONV). Essa ferramenta computacional é baseada em aplicações das metaheurísticas Busca Tabu e Algoritmo Genético, a fim de obter melhorias em todos os segmentos da transmissão, além de identificar os motivos de uma possível sobrecarga do sistema, quando não há banda disponível suficiente para atender a todos os clientes, através de configurações específicas nos parâmetros de entrada que são: a taxa de transmissão (T_t), a qualidade de vídeo (Q_v), a qualidade de áudio (Q_a), os tipos de clientes (T_c), a largura de banda do cliente (L_b) e a quantidade de banda disponível (B_d). Os resultados obtidos neste trabalho comprovaram que tanto a Busca Tabu quanto o Algoritmo Genético obtiveram resultados satisfatórios e otimizados, conforme o aumento da Função Objetivo, atestando sua eficiência.

Palavras Chave: IPTV, Metaheurística, Algoritmo Genético, Busca Tabu.

ABSTRACT

With the advent of the Internet, combined with the constant evolution of the broadband distribution technologies, along with the public increasingly demanding, IPTV (Internet Protocol Television) arises. Currently, there are several studies on how to improve the distribution of content through a variety of devices available in the market, such as Digital TV, Tablets and Smartphones. This paper presents a computational tool based on a mathematical model to optimize IPTV module parameters of a Digital Convergence Platform (DIGICONV). This software tool is based on applications of metaheuristics Tabu Search and Genetic Algorithm in order to achieve improvements in all segments of the transmission, and to identify the reasons for a possible system overload, when there is not enough available bandwidth to meet all customers through specific settings in the input parameters are: the transmission rate (T_t), the video quality (Q_v), audio quality (Q_a), the types of customers (T_c), the bandwidth of client (L_b) and the amount of available bandwidth (BD). The results of this study showed that both the tabu search and the genetic algorithm achieved satisfactory results and optimized, with increasing Objective Function, attesting to its effectiveness.

Keywords: IPTV. Metaheuristics. Genetic Algorithms. Tabu Search.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Arquitetura Básica do Sistema de IPTV	21
Figura 2: Mobile IPTV.....	27
Figura 3: Geração de Vizinhanças da Busca Tabu	30
Figura 4: Algoritmo Clássico da Busca Tabu.....	33
Figura 5: Algoritmo Genético Simples	38
Figura 6: Algoritmo Evolucionário.....	39
Figura 7: Arquitetura de Transmissão IPTV	47
Figura 8: Arquitetura da Plataforma de Convergência Digital - DIGICONV.....	48
Figura 9: Estrutura do Modelo Proposto.....	49
Figura 10: Banda Disponível Quando $B_d > 0$	50
Figura 11: Banda Disponível Quando $B_d < 0$	51
Figura 12: Configuração de Banda Necessária do YouTube	58
Figura 13: Configuração de Banda Necessária do Netflix.....	59
Figura 14: MOIPTV: Busca Tabu	63
Figura 15: MOIPTV: Algoritmo Genético	63
Figura 16: Gráfico com Resultado Final da BT.....	98
Figura 17: Gráfico com Resultado Final do AG	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Representação AG x Representação Natural.....	36
Tabela 2: Representação Cromossômica.....	36
Tabela 3: Representação Binário de um Cromossomo	37
Tabela 4: Processo de Crossover.....	40
Tabela 5: Resultado do Crossover	40
Tabela 6: Resultado da Mutação.....	41
Tabela 7: Comparação entre os Trabalhos Relacionados.....	44
Tabela 8: Parâmetros da Taxa de Transmissão (Tt).....	53
Tabela 9: Qualidade de Vídeo (Qv)	54
Tabela 10: Qualidade de Transmissão de Áudio (Qa).....	54
Tabela 11: Tipos de Banda Adotados (Lb)	56
Tabela 12: Tipos de Clientes (Tc).....	56
Tabela 13: Médias das Variáveis.....	64
Tabela 14: Desvio Padrão	64
Tabela 15: Valores dos Pesos Não Tendenciosos	65
Tabela 16: <i>Crossover</i> Aritmético.....	68
Tabela 17: Processo de Mutação do AG	68
Tabela 18: Etapas do Processo de Validação da BT e do AG.....	71
Tabela 19: Características de Entrada do Modelo.....	72
Tabela 20: Médias Obtidas à Medida que o Peso de Tt Aumenta na FO.....	73
Tabela 21: Médias Obtidas à Medida que o Peso de Qv Aumenta na FO	74
Tabela 22: Médias Obtidas à Medida que o Peso de Tc Aumenta na FO.....	76
Tabela 23: Médias Obtidas à Medida que o Peso de Lb Aumenta na FO.....	77
Tabela 24: Médias Obtidas à Medida que o Peso de Qa Aumenta na FO	78
Tabela 25: Médias Obtidas à Medida que o Peso de Bd Aumenta na FO.....	79
Tabela 26: Relação de Valores Atribuídos a Lista Tabu.....	79
Tabela 27: Relação de Valores Atribuídos ao Nbmax	80
Tabela 28: Número de Clientes para os Experimentos da BT	80
Tabela 29: Modelo Padrão de Resultados do Módulo da Busca Tabu.....	81
Tabela 30: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=25 e Nbmax=50	82
Tabela 31: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=25 e Nbmax=100	83
Tabela 32: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=25 e Nbmax=200	84

Tabela 33: Médias de 100 Execuções Obtidas com $LT=25$ e $Nbmax=750$	85
Tabela 34: Médias de 100 Execuções Obtidas com $LT=25$ e $Nbmax=2000$...	85
Tabela 35: Médias de 100 Execuções Obtidas com $LT=50$ e $Nbmax=50$	86
Tabela 36: Médias de 100 Execuções Obtidas com $LT=50$ e $Nbmax=100$	87
Tabela 37: Médias de 100 Execuções Obtidas com $LT=50$ e $Nbmax=200$	88
Tabela 38: Médias de 100 Execuções Obtidas com $LT=50$ e $Nbmax=750$	89
Tabela 39: Médias de 100 Execuções Obtidas com $LT=50$ e $Nbmax=2000$...	89
Tabela 40: Médias de 100 Execuções Obtidas com $LT=75$ e $Nbmax=50$	90
Tabela 41: Médias de 100 Execuções Obtidas com $LT=75$ e $Nbmax=100$	91
Tabela 42: Médias de 100 Execuções Obtidas com $LT=75$ e $Nbmax=200$	91
Tabela 43: Médias de 100 Execuções Obtidas com $LT=75$ e $Nbmax=750$	92
Tabela 44: Médias de 100 Execuções Obtidas com $LT=75$ e $Nbmax=2000$...	92
Tabela 45: Médias de 100 Execuções Obtidas com $LT=100$ e $Nbmax=50$	93
Tabela 46: Médias de 100 Execuções Obtidas com $LT=100$ e $Nbmax=100$...	93
Tabela 47: Médias de 100 Execuções Obtidas com $LT=100$ e $Nbmax=200$...	94
Tabela 48: Médias de 100 Execuções Obtidas com $LT=100$ e $Nbmax=750$...	94
Tabela 49: Médias de 100 Execuções Obtidas com $LT=100$ e $Nbmax=2000$.	95
Tabela 50: Médias de 100 Execuções Obtidas com $LT=200$ e $Nbmax=50$	95
Tabela 51: Médias de 100 Execuções Obtidas com $LT=200$ e $Nbmax=100$...	96
Tabela 52: Médias de 100 Execuções Obtidas com $LT=200$ e $Nbmax=200$...	96
Tabela 53: Médias de 100 Execuções Obtidas com $LT=200$ e $Nbmax=750$...	97
Tabela 54: Médias de 100 Execuções Obtidas com $LT=200$ e $Nbmax=2000$.	97
Tabela 55: Valores Atribuídos a Taxa de Cruzamento	100
Tabela 56: Valores Atribuídos a Taxa de Mutação	100
Tabela 57: Modelo Demonstrativo de Resultados do AG	101
Tabela 58: Número de Clientes para os Experimentos do AG	101
Tabela 59: Médias de 100 Execuções Obtidas com $TC=10$ e $TM=0$	102
Tabela 60: Médias de 100 Execuções Obtidas com $TC=10$ e $TM=5$	103
Tabela 61: Médias de 100 Execuções Obtidas com $TC=10$ e $TM=10$	103
Tabela 62: Médias de 100 Execuções Obtidas com $TC=10$ e $TM=15$	104
Tabela 63: Médias de 100 Execuções Obtidas com $TC=10$ e $TM=25$	104
Tabela 64: Médias de 100 Execuções Obtidas com $TC=25$ e $TM=0$	105
Tabela 65: Médias de 100 Execuções Obtidas com $TC=25$ e $TM=5$	105
Tabela 66: Médias de 100 Execuções Obtidas com $TC=25$ e $TM=10$	106

Tabela 67: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=25 e TM=15.....	106
Tabela 68: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=25 e TM=25.....	107
Tabela 69: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=50 e TM=0.....	107
Tabela 70: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=50 e TM=5.....	108
Tabela 71: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=50 e TM=10.....	108
Tabela 72: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=50 e TM=15.....	109
Tabela 73: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=50 e TM=25.....	109
Tabela 74: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=75 e TM=0.....	110
Tabela 75: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=75 e TM=5.....	110
Tabela 76: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=75 e TM=10.....	111
Tabela 77: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=75 e TM=15.....	111
Tabela 78: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=75 e TM=25.....	112
Tabela 79: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=90 e TM=0.....	112
Tabela 80: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=90 e TM=5.....	113
Tabela 81: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=90 e TM=10.....	113
Tabela 82: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=90 e TM=15.....	113
Tabela 83: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=90 e TM=25.....	114

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACAP	<i>Advanced Common Application Platform</i>
ACC	<i>Audio Advanced Coding</i>
ADAP_IP	Adaptador de interface de rede
ADSL	<i>Assymmetric Digital Subscriber Line</i>
AG	Algoritmos Genéticos
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
BD	Banco de Dados
BL	Busca Local
BT	Busca Tabu
CA	Critério de Aspiração
DCIPTVs	Dispositivos de Consumo de IPTV
DIGICONV	Plataforma de Convergência Digital
DRM	<i>Digital Rights Manegement</i>
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>
DSLAM	<i>Digital Subscriber Line Access Multiplexer</i>
DVB	<i>Digital Video Broadcasting</i>
DVR	<i>Digital Video Recorder</i>
EPG	<i>Electronic Program Guides</i>
FO	Função Objetivo
GEM	<i>Globally Executable MHP</i>
HD	<i>High Definition</i>
HIS	<i>High-Speed Internet</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPTV	<i>Internet Protocol Television</i>
IPTV CD	<i>Internet Protocol Television Content Delivery</i>
ITU-T	<i>International Telecommunication Union Standardization</i>
iTV	<i>Interactive Television</i>
LD	<i>Low Definition</i>
LT	Lista Tabu
MCAIPTV	Modelo Computacional Adaptativo IPTV

MHP	<i>Multimedia Home Platform</i>
MPEG	<i>Moving Picture Experts Group</i>
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
NS	<i>Network Simulator</i>
NCLI	Número de Clientes
OBX	<i>Order Based Crossover</i>
OCAP	<i>Open Cable Application Platform</i>
PIPCA	Programa Interdisciplinar de Pós-graduação em Computação Aplicada
PLAT_CONV	Plataforma de Convergência
PO	Pesquisa Operacional
PPV	<i>Pay-Per-View</i>
QoE	Qualidade de Experiência
QoS	Qualidade do Serviço
RGs	Gateways Residenciais
RTOS	<i>Real Time Operating System</i>
RTP	<i>Real Time Protocol</i>
SBTD	Sistema Brasileiro de Televisão Digital
SD	<i>Standard Definition</i>
SMPTE	<i>Society of Motion Picture and Television Engineers</i>
STB	<i>Set-Top-Box</i>
TA	Terminal de Acesso
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TS	<i>Transport Stream</i>
TV	Televisão
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos
VDSL	<i>Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line</i>
VHO	<i>Video Headend Office</i>
VLC	<i>Video Lan Client Media Player</i>
VoD	<i>Vídeo on Demand</i>
WiFi	<i>Wireless Fidelity</i>
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Motivação	17
1.2 Questão de Pesquisa	17
1.3 Objetivos	17
1.3.1 Objetivo Geral	17
1.3.2 Objetivos Específicos	17
1.4 Justificativa	18
2 IPTV	19
2.1 Definição de IPTV	20
2.2 Arquitetura Básica de um Sistema IPTV	20
2.3 Interatividades no IPTV	22
2.4 Sistemas de IPTV Baseados em Redes Peer-to-Peer (P2P)	23
2.4.1 <i>CoolStreaming</i>	23
2.4.2 <i>PPLive</i>	24
2.5 IPTV e Internet TV	24
2.5.1 Diferentes Plataformas	24
2.5.2 Alcance Geográfico	25
2.5.3 Propriedade da Infraestrutura de Rede	25
2.5.4 Mecanismo de Acesso	25
2.5.5 Custos	26
2.5.6 Geração de Metodologias	26
2.6 IPTV Móvel	26
3 METAHEURISTICAS	28
3.1 Busca Tabu	28
3.1.1 Principais Características	29
3.1.2 Composição da Busca Tabu	30
3.1.2.1 Lista Tabu	31
3.1.2.2 Critério de Aspiração	31
3.1.2.3 Mecanismo de Intensificação	31
3.1.2.4 Mecanismo de Diversificação	31
3.1.3 Período Tabu	32

3.1.4 Critério de Parada	32
3.1.5 Algoritmo Busca Tabu	33
3.2 Algoritmo Genético	35
3.2.1 Principais Características	36
3.2.2 Tipos de Representação	36
3.2.3 Exemplo de um Algoritmo Genético	37
3.2.4 Operadores Genéticos: Seleção	40
3.2.5 Operadores Genéticos: Cruzamento	40
3.2.6 Operadores Genéticos: Mutação.....	41
3.2.7 Critério de Parada	41
4 TRABALHOS RELACIONADOS	43
5 MODELO PROPOSTO	46
5.1 Arquitetura do Modelo	46
5.2. Modelo Computacional.....	48
5.2.1 Parâmetros de Entrada.	50
5.2.2 Processamento	52
5.2.3 Controle.....	52
5.2.4 Saída de Dados.....	52
5.2.5 Modelo Matemático	52
5.3 Modelo de Otimização IPTV (MOIPTV).....	61
5.3.1 Geração da Solução Inicial.....	64
5.3.2 Algoritmo Busca Tabu	65
5.3.2.1 Módulo de Geração de Vizinhanças.....	65
5.3.2.2 Lista Tabu.....	66
5.3.2.3 Critério de Aspiração.....	66
5.3.2.4 Mecanismos de Intensificação e Diversificação	66
5.3.2.5 Critério de Parada	66
5.3.3 Algoritmo Genético	66
5.3.3.1 Geração da População Inicial.....	67
5.3.3.2 Método de Avaliação.....	67
5.3.3.3 Operador de Seleção	67
5.3.3.4 Operador de Cruzamento.....	67
5.3.3.5 Operador de Mutação.....	68

	15
5.3.3.6 Critério de Parada	69
6 TESTES E VALIDAÇÃO DO MODELO	70
6.1 Solução Tendenciosa e Não Tendenciosa	71
6.1.1 Etapa 1: Processo de Teste e Validação do Modelo	72
6.1.2 Etapa 2: Experimentos Envolvendo a Busca Tabu	79
6.1.3 Etapa 3: Experimentos Envolvendo o Algoritmo Genético	100
7 CONCLUSÃO	116
7.1 Trabalhos Futuros	117
REFERÊNCIAS	119

1 INTRODUÇÃO

Desde o surgimento da Internet, juntamente com as formas de distribuição com grandes taxas de transmissão de dados (Banda Larga), surgiram novas formas de explorar as vantagens que o IPTV pode proporcionar. IPTV é uma tecnologia recente que tem grande importância para diversas áreas como a medicina, indústria e a ciência, não somente do ponto de vista tecnológico, mas também como uma plataforma de serviços (JANEVSKI, 2014; VESELINOVSKA; 2014).

De modo geral, IPTV tornou-se uma plataforma que está mudando a maneira de acesso à informação e entretenimento. IPTV é visto, atualmente, como parte dos pacotes *triple play* e *quádruplo-play* que normalmente são oferecidos pelas operadoras de rede em todo o mundo (MOUSTAFA; SIDDIQUI; ZEADALLY; 2011).

De acordo com os dados do IBGE, coletados entre 2005 a 2011, em 2011 77,7 milhões de pessoas de 10 anos ou mais de idade acessaram a Internet no período de referência nos últimos três meses. Este contingente equivalia a 46,5% do total da população de 10 anos ou mais de idade. Em 2009, o número de internautas foi estimado em 67,7 milhões, representando 41,6% da população-alvo. Nos anos de 2008 e 2005, estes totais foram estimados em 55,7 milhões (ou 34,7% da população-alvo) e 31,9 milhões (ou 20,9% da população-alvo), respectivamente.

De 2005 a 2011, a população de 10 anos ou mais de idade (população em idade ativa) cresceu 9,7%, enquanto o contingente de pessoas que utilizaram a Internet aumentou 143,8%, ou seja, em seis anos o número de internautas no País cresceu 45,8 milhões (IBGE, 2011).

Esses dados mostram que, com o crescente aumento do acesso às informações, quer seja por *PCs*, *Tablets*, *Smartphones* e/ou através das TVs *Smarts* (TVs que já vêm preparadas à conexão com Internet, através de *wireless* ou conector RJ45), essas tecnologias, cada vez mais acessíveis e de baixo custo, vêm transformando não só casas como também os costumes das pessoas, adotando uma gama de novas tendências que ajudam a tornar a vida mais fácil e assim mantê-las entretidas.

Com essa evolução, temos os dispositivos de entretenimento digital. Consoles de jogos, sistemas de áudio multi-sala, *set-top-box* digital (STBs), TVs de tela plana são bastante comuns, além da migração da TV de definição padrão para a TV de alta definição (HD). Esse cenário tem contribuído para o aumento das demandas de

consumidores de entretenimento e serviços multimídias, todos permitindo a contínua evolução de redes domésticas e criando a noção de um verdadeiro “cinema em casa”(MOUSTAFA; SIDDIQUI; ZEADALLY; 2011).

1.1 Motivação

A qualidade da transmissão do IPTV, leva em conta vários fatores e normas, que a diferencia dos demais meios de transmissão de vídeo sobre IP. Dessa forma, existe um desafio na procura de melhorar essa qualidade para obtermos o máximo de eficiência da transmissão para atender, de forma satisfatória, todos os clientes finais.

1.2 Questão de Pesquisa

Como desenvolver um modelo computacional para IPTV utilizando conceitos e aplicações de metaheurísticas, para melhorar a qualidade de transmissão e ao mesmo tempo garantir sua eficiência?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um algoritmo que faça a otimização do módulo IPTV, através da definição dos valores dos parâmetros taxa de transmissão (T_t), qualidade de vídeo (Q_v), qualidade de áudio (Q_a), Tipo de clientes (T_c), largura de banda do cliente (L_b) e a banda disponível (B_d) utilizando as metaheurísticas Busca Tabu e Algoritmo Genético para obtenção de melhores configurações a fim de obtermos melhores taxas de transmissão para IPTV.

1.3.2 Objetivos Específicos

Desenvolver um protótipo de *software* do um módulo IPTV da Plataforma DIGICONV, baseado em um modelo matemático utilizando as metaheurísticas Busca Tabu e Algoritmos Genéticos;

Validar o protótipo de *software* observando a dinâmica do comportamento os parâmetros do protótipo, frente ao comportamento real do módulo IPTV;

Realizar experimentos voltados a cenários caracterizados pelos tipos de clientes;

Obter resultados que atestem a melhora da qualidade de transmissão, através de configurações específicas dos valores dos parâmetros de entrada: taxa de

transmissão (Tt), qualidade de vídeo (Qv), qualidade de áudio (Qa), Tipo de clientes (Tc), largura de banda disponível do cliente (Lb) e a sobra de banda disponível (Bd) .

1.4 Justificativa

Este trabalho está embasado em estudos recentes sobre a Plataforma de Convergência Digital (DIGICONV), que é objeto de pesquisa na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), através do Programa Interdisciplinar de Pós-graduação em Computação Aplicada (PIPCA), financiado pelo FUNTTEL desde fevereiro de 2009. Também remete ao uso de técnicas utilizando metaheurísticas para a criação de *softwares* híbridos, utilizados nessa plataforma, para entrega de conteúdo digital em dispositivos móveis, seguindo as normas estabelecidas pela ABNT, ITU-T e orientações do SBTVD e FUNTTEL, objetivando uma melhoria significativa na qualidade de transmissão IPTV, através da definição dos seguintes parâmetros: taxa de transmissão (Tt), qualidade de vídeo (Qv), qualidade de áudio (Qa), Tipo de clientes (Tc), largura de banda do cliente (Lb) e a banda disponível (Bd).

Este trabalho está organizado em sete capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução ao tema, através da motivação, objetivos e técnicas utilizadas. No segundo capítulo, é apresentada a fundamentação teórica, através de uma visão do estado da arte sobre IPTV, sendo apresentados os conceitos básicos, arquitetura e algumas características relevantes a esta dissertação. No terceiro capítulo, são apresentados os conceitos de metaheurísticas, que servirão para a definição do modelo. No quarto capítulo, são apresentados alguns trabalhos relacionados ao tema em questão. O quinto capítulo, apresenta a formulação matemática do Modelo proposto. No sexto capítulo, são apresentados os experimentos planejados a serem realizados assim como a validação da aplicação, através da Jiga de Teste da Plataforma de Convergência Digital (DIGICONV). O sétimo capítulo, apresenta a finalização da dissertação através da conclusão e aponta alguns trabalhos futuros que podem ser desenvolvidos para aprimorar e/ou dar continuidade a este trabalho.

2 IPTV

O avanço dos transportes de vídeos está em constante evolução, na mesma proporção que surgem novas tecnologias. Isto aconteceu com o rádio, cabo coaxial, micro-ondas, satélite e fibra óptica. Alguns utilizam como meio de transporte o *Internet Protocol* (IP), do qual possui maior relevância, pois, agrega tipos diferentes de vídeo, áudio, e dados que são transportados a qualquer parte do globo.(SIMPSON, 2009)

Diversas inovações tecnológicas, citadas nos parágrafos a seguir, contribuíram para o transporte de vídeo sobre IP ser útil para uma variedade de aplicações nos dias atuais.

- **Transição para Vídeo Digital:** durante os últimos 20 anos, a produção de vídeo digital tem praticamente tomado conta do mercado se comparado à produção de vídeo analógico, o que tem contribuído bastante são as filmadoras digitais, TVs digitais, Monitores digitais, etc. Isso resultou que os sinais de vídeos não precisam mais ser transportados pelos canais analógicos especializados, mas sim a ampla gama de tecnologias digitais que toma conta do mercado nos dias atuais;
- **Compressão de vídeo:** Outro fator que evoluiu ao longo dos anos foram as tecnologias de compressão de vídeos, desde o padrão MPEG-1 em 1991, o atual AVC MPEG-4 e Windows Media Codec, ambos tornados públicos em 2011 (SIMPSON, 2009). Através da compressão de vídeo, tornou-se possível que sinais de vídeos aceitáveis pudessem ser enviados através de redes limitadas sem que perdessem tanto a qualidade;
- **Crescimento da capacidade da Rede IP:** Com o rápido crescimento do tráfego de internet e a adoção generalizada de linhas de acesso à banda Larga, significa que a capacidade da rede IP necessária para transporte de vídeo atingiu a massa crítica.

Todos esses acontecimentos tornaram viável o uso de técnicas para entregar, de modo econômico, os conteúdos de vídeo com alta qualidade para um número muito grande de expectadores através das redes IP.(SIMPSON, 2009).

Devido às opções diferentes para o transporte de vídeo sobre IP, que pode ser movido através de diferentes maneiras, em virtude da ampla gama de siglas, aplicações e padrões, neste capítulo serão vistas as principais diferenças para futura aplicação, dentro do contexto dessa dissertação, de qual a mais adequada.

2.1 Definição de IPTV

O termo *Internet Protocol Television* (IPTV), de maneira simplificada, seria o transporte de dados sobre IP. Esta definição não pode ser entendida ao pé da letra, uma vez que existem várias maneiras de transporte de vídeo sobre IP sem ser IPTV, a exemplo da Internet TV (SIMPSON, 2009). Dado este fato, serão discutidos os conceitos sobre o IPTV para que essas diferenças se tornem cada vez mais claras e evidentes.

Para Driscoll (2008), IPTV é uma tecnologia que visa entregar alta qualidade de transmissão, conteúdo de áudio, vídeo e dados através de uma rede de banda larga. Sendo o IPTV baseado no protocolo de Internet, são citadas a seguir as seguintes características:

- Suporte para TV interativa: os recursos bidirecionais dos sistemas IPTV permitem que provedores de serviço entreguem aplicativos interativos de TV (padrão ao vivo TV, HDTV, jogos interativos, altas velocidades de navegação na Internet);
- Tempo de deslocamento: mecanismo de gravação e armazenamento de conteúdo IPTV para visualização posterior, junto com um gravador de vídeo digital;
- Personalização: comunicação bidirecional com o sistema IPTV permite que os usuários decidam o que querem assistir e quando;
- Requisitos de largura de banda Larga: serviços de provedores com fluxo de entrega apenas ao canal que o usuário final tenha solicitado em vez de entregar todos os canais para cada usuário final, assim, conservar mais largura de banda;
- Acessível em vários dispositivos: os consumidores podem usar não somente televisores, mas também seus *PCs* e dispositivos móveis e *tablets* para acessar o conteúdo IPTV.

2.2 Arquitetura Básica de um Sistema IPTV

A Figura 1 mostra a arquitetura básica de um sistema de IPTV (MOUSTAFA; SIDDIQUI; ZEADALLY; 2011), além das funcionalidades de cada uma das partes em destaque.

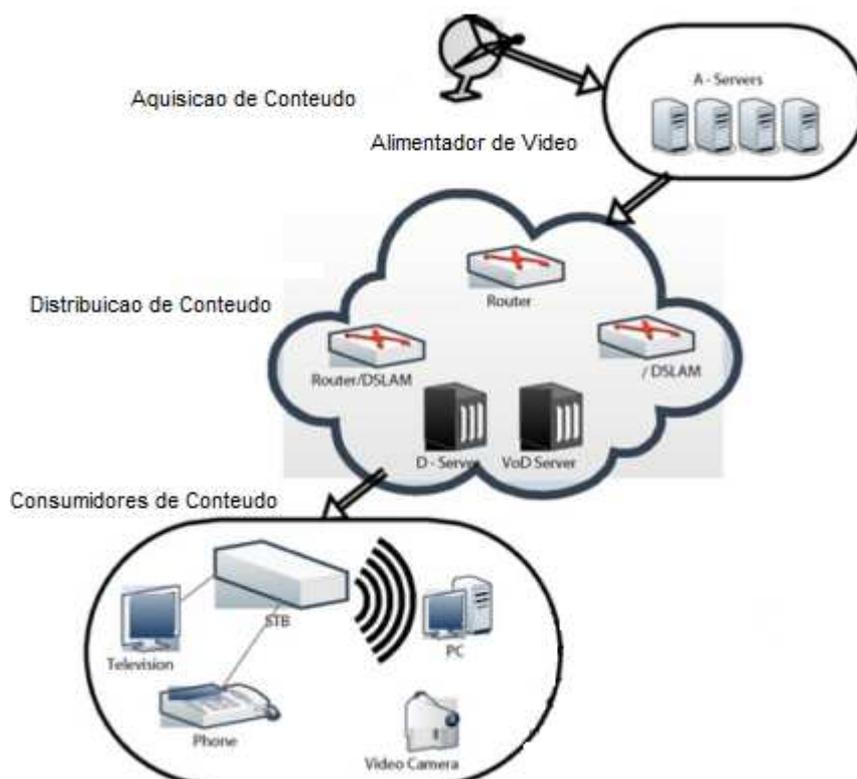


Figura 1: Arquitetura Básica do Sistema de IPTV

A arquitetura básica é composta por 03 partes principais:

- **Aquisição de Conteúdo:** são servidores responsáveis pela codificação dos vídeos e de adicionar metadados sobre os direitos autorais – DRM (*Digital Rights Management*);
- **Distribuição de Conteúdo:** são servidores responsáveis pelo armazenamento dos conteúdos, além de fazer o controle de qualidade dos Serviços (QoS) e repassar para os roteadores que definem a rota que será utilizada para a entrega do conteúdo, ou seja, seleciona os destinos, mesmo quando há falhas. Eles possuem controle de redirecionamento. Estes podem conter uma *Digital Subscriber Line* (DSL) e também possuem um servidor de *Video-on-Demand* (VoD) responsável por distribuir apenas os vídeos selecionados pelo usuário armazenados em uma biblioteca interna, economizando assim a Largura de Banda;
- **Consumidores de Conteúdo:** são os usuários, que recebem o sinal, normalmente via DSL, através dos *Set-Top-Boxes* instalados em suas

residências, do qual transmitem o sinal já decodificado para as TVs, *Smartphones*, *Tables*, *PCs* e demais dispositivos compatíveis.

2.3 Interatividades no IPTV

Embora os principais serviços do IPTV sejam a transmissão digital de TV e *Video on Demand* (VoD), tecnologias baseadas em IP, também permitem que provedores de serviços ofereçam uma gama de aplicações interativas avançadas de TV (iTV). Driscoll (2008) cita que, antes, as TVs tinham um papel unidirecional de transmitir a informação, mas agora diante dessa nova realidade, esta pode assumir um papel bidirecional proporcionando, ao telespectador, uma postura mais ativa sobre a informação, entretenimento e comunicação.

Essas aplicações do iTV podem ser incorporadas em uma rede centralizada ou diretamente no servidor.(JANEVSKI ; VESELINOVSKA; 2014).

Alguns exemplos de aplicações de iTV temos:

- GPE: Guia de Programação Eletrônico que informa aos assinantes sobre os canais de programas disponíveis. Os assinantes podem também personalizar seus GPE para satisfazer as suas próprias necessidades;
- Conteúdo de vídeo sob demanda: assinantes podem acessar o conteúdo de vídeo em sua própria programação, usando seu IPTVCD;
- Navegação IPTV: o navegador IPTV/STB ajusta páginas da Web existentes para a apresentação em uma TV;
- IPTV email: assinantes podem acessar suas contas de e-mail usando uma IPTVCD digital avançada com um teclado;
- Gravação de Vídeo Digital: gravação e armazenamento de conteúdo de vídeo, tornada possível pela adição de recursos do IPTVCD (verificar recurso se disponível);
- Mensagens Instantâneas IPTV: integração com o *Instant Message* (IM) com um número de plataformas de rede de IPTV disponíveis comercialmente;
- IPTV *commerce*: entrega de comércio eletrônico com respectivos pedidos em uma TV, exemplo: aluguéis de filmes através da TV, aquisição de algum produto, etc;

- Tela de identificação de chamadas: uma combinação de conteúdo de vídeo e serviços de telefonia;
- Publicidade segmentada de TV interativa: os anunciantes, bem como prestadores de serviços, podem gerar receitas adicionais através da inserção de anúncios em seus canais de vídeo baseados em IP.
- Controle parental: os pais podem gerir o tipo de conteúdo visualizado por seus filhos.
- Jogos Interativos: existe uma gama de jogos interativos disponíveis para IPTV, atualmente.

Além desses serviços de interação, o IPTV permite a entrega de programas de TV (novelas, minisséries, filmes, cobertura de shows, etc), entre outros tipos de conteúdo de vídeo interativo e serviços de multimídia (áudio, gráficos de texto, dados), através de uma rede baseada em IP desde que consiga fornecer o necessário nível de QoS, QoE e interatividade (DRISCOLL, 2008). O tipo de prestadores de serviços envolvidos na implantação de serviços de IPTV varia de empresas de telefonia e grandes operadores de redes privadas, em diferentes partes do mundo, a operadoras de cabo e TV por satélite (MOUSTAFA; SIDDIQUI; ZEADALLY; 2011).

2.4 Sistemas de IPTV Baseados em Redes Peer-to-Peer (P2P)

As redes *peer-to-peer* (P2P) são praticamente construídas, sobrepostas, ao longo de redes físicas. As arquiteturas de IPTV, a seguir apresentadas, visam à prestação de serviços de IPTV baseada em P2P (CHUNG , 2009).

2.4.1 CoolStreaming

CoolStreaming é uma tecnologia P2PTV que permite aos usuários compartilhar conteúdo de TV uns com os outros, através da Internet. A tecnologia *CoolStreaming* é semelhante ao do *BitTorrent*. *CoolStreaming* é um quadro de mídia ao vivo, baseado em redes orientadas a dados de sobreposição, onde cada nó, periodicamente, intercala dados de informação de disponibilidade com outros nós. A gestão dos nós que se juntam às redes é controlada por um nó de origem, que é persistente durante o tempo de vida da sessão de *streaming*. O protocolo *CoolStreaming* implementa um algoritmo de agendamento inteligente que lida com as diferenças de largura de banda de *upload* dos clientes e, portanto, minimiza falhas

durante a reprodução. *CoolStreaming* é baseado na arquitetura *BitTorrent* que utiliza um grafo direcionado com base em algoritmos interativos para disponibilidade de conteúdo. *Coolstreaming TV* é conhecido por ser o primeiro sistema P2PTV que atraiu mais de um milhão de espectadores, mas foi interrompido em junho de 2005 por causa de questões de direitos autorais (Coolstreaming the Biggest Internet Tv Platform, 2015).

2.4.2 PPLive

PPLive é conhecido como um dos serviços mais populares de P2P baseado em IPTV, que oferece mais de 200 canais e pode atender 400.000 utilizadores por dia, em média. Ele implementa um protocolo de distribuição de vídeo P2P- base. Quando um novo par une "*PPLive*", ele envia uma consulta ao servidor de canal central e obtém a lista de canais disponíveis. "*PPLive*" é um sistema de *streaming* de mídia ao vivo P2P baseado em malhas com base nos mapas de *buffer* coletados remotamente. Os mapas de buffer de pares fornecem as informações para a disponibilidade do pedaço de vídeo solicitado.(PPLive. The Most Popular Net TV in the World, 2015).

2.5 IPTV e Internet TV

Também é importante frisar que o IPTV e Internet TV diferem em termos de suas abordagens na entrega de vídeo baseadas em IP, mesmo que eles compartilhem a mesma base do núcleo de tecnologias (DRISCOLL, 2008).

IPTV é muitas vezes confundida com a Internet TV. Embora ambos os ambientes contem com a mesma base de núcleo de tecnologias, suas abordagens na entrega de vídeo com base em IP diferem nas seguintes maneiras (DRISCOLL, 2008):

2.5.1 Diferentes Plataformas

Como o próprio nome sugere, a Internet TV utiliza a Internet pública para entregar conteúdo de vídeo para usuários finais. IPTV, ao contrário, usa redes privadas dedicadas seguras para entregar conteúdo de vídeo para os consumidores. Estas redes privadas são gerenciadas e operadas pelo prestador do serviço de IPTV.

2.5.2 Alcance Geográfico

Redes proprietárias e controladas pelos operadores de telecomunicações não são acessíveis aos utilizadores da Internet e estão localizadas em áreas geográficas fixas. A Internet, pelo contrário, não tem limitações geográficas onde os serviços de televisão podem ser acessados a partir de qualquer parte do globo.

2.5.3 Propriedade da Infraestrutura de Rede

Quando o vídeo é enviado, através da rede pública de Internet, alguns dos pacotes do Protocolo da Internet, utilizados para transportar o vídeo, podem ser atrasados ou completamente perdidos, enquanto atravessam as várias redes que compõem a Internet pública. Como resultado, os prestadores de vídeo (emissoras) sobre o conteúdo da Internet não podem garantir uma experiência de visualização de TV, quando comparada com um terrestre tradicional, cabo ou experiência de visualização de televisão por satélite. Na verdade, o vídeo transmitido pela Internet pode, às vezes, aparecer distorcido na tela da TV e a resolução da imagem bastante baixa.

Em comparação com esta experiência, o IPTV com qualidade é entregue, através de uma infraestrutura de rede, que normalmente é de propriedade do prestador de serviços. O fato de possuir a infraestrutura de rede, permite que as operadoras de telecomunicações projetem seus sistemas para apoiar a prestação *end-to-end* de vídeo de alta qualidade.

2.5.4 Mecanismo de Acesso

O *set-top-box* digital é geralmente usado para acessar e decodificar o vídeo a ser entregue, através de um sistema de IPTV ao passo que um PC é quase sempre usado para acessar aos serviços de Internet TV.

O tipo de *software* utilizado no PC irá depender do tipo de conteúdo da Internet TV. Por exemplo, fazer o *download* de um conteúdo de um site de portal TV Internet, por vezes, requer a instalação de um *media player* dedicado para ler este conteúdo. A gestão de direitos digitais (*Digital Rights Media*) é robusta e também necessária para suportar este mecanismo de acesso.

2.5.5 Custos

O significativo percentual de conteúdo de vídeo entregue, através da Internet pública está disponível para os consumidores, livres de carga tributária. No entanto, isso está mudando, devido a uma demanda crescente de consumidores, o número de empresas que oferecem estes serviços de *streaming* estão começando a introduzir serviços de TV na Internet, a uma tarifa diferenciada. A estrutura de custos aplicada aos serviços de IPTV é semelhante ao modelo de assinatura mensal adotada por provedores de TV por assinaturas tradicionais. Com o tempo, muitos analistas esperam que a Internet TV e IPTV convirjam em um serviço central de entretenimento que acabará tornando-se uma aplicação de *mainstream*.

2.5.6 Geração de Metodologias

Uma parcela considerável de conteúdo de vídeo gerado por provedores de TV na Internet é consumido pelos canais favoritos do usuário e, enquanto provedores de IPTV, em geral, ficam com a distribuição de programas de televisão e filmes tradicionais, que são tipicamente fornecidos pelas grandes empresas de mídia estabelecidas.

2.6 IPTV Móvel

A crescente mobilidade dos usuários finais, juntamente com seus dispositivos portáteis, está exigindo o acesso à informação em qualquer lugar, a qualquer hora. Com esta mudança de paradigma, a tecnologia IPTV móvel permite que os usuários móveis possam transmitir e receber tráfego multimídia, tais como sinais de TV, vídeo, áudio, texto e gráficos, através de redes baseadas em IP, com o apoio da QoS e da QoE, proporcionando segurança, mobilidade e interatividade. Em suma, IPTV móvel estende muitos serviços de IPTV para os usuários móveis (JEONG; PARK; 2009).

Em uma arquitetura típica de IPTV móvel, em uma primeira fase, uma interface sem fios permite a comunicação entre a rede de acesso e o receptor (terminal móvel IPTV). A Figura 2 mostra uma arquitetura de IPTV móvel padrão, usando várias redes de acesso sem fio, como redes celulares, rede local sem fio (WLAN), interoperabilidade mundial para acesso de micro-ondas (WiMAX), e cada tecnologia wireless tem suas próprias características, que os prestadores de serviços devem considerar, cuidadosamente, durante a implantação de IPTV móvel. Em uma segunda

fase, a seção de fio estende-se para o remetente, para que dispositivos de receptor do remetente permitam ser móvel. Além disso, o conteúdo criado pelo usuário está se tornando mais popular na comunidade Internet; qualquer usuário móvel pode criar conteúdo IPTV e fornecê-lo a outros usuários de IPTV móvel (MOUSTAFA; SIDDIQUI; ZEADALLY; 2011).

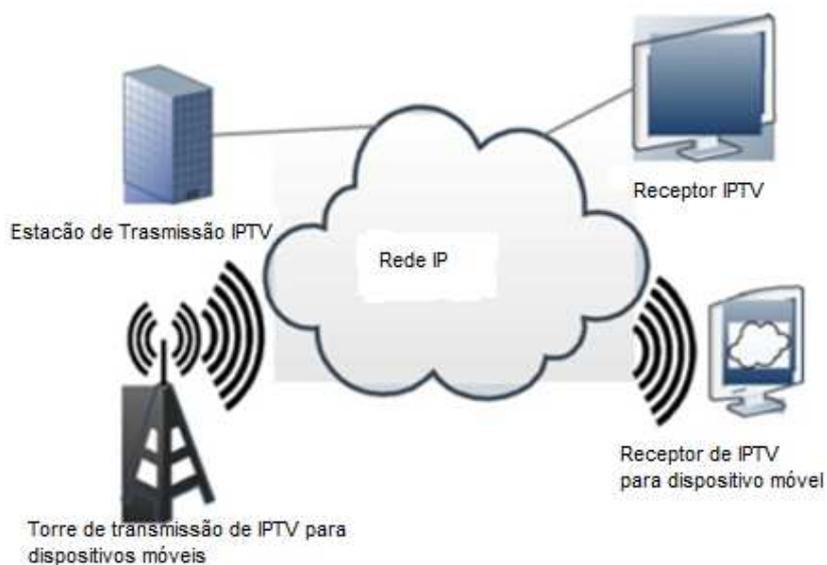


Figura 2: Mobile IPTV

3 METAHEURISTICAS

Metaheurísticas, em sua definição original, são métodos de solução que orquestram uma interação entre procedimentos de melhoria de locais e estratégias de nível superior para criar um processo capaz de escapar de ótimos locais realizando uma pesquisa robusta de um espaço de solução (GENDREAU; POTVIN, 2011).

Com o tempo, esses métodos também passaram a incluir alguns procedimentos que empregam estratégias para abordar o problema da otimização local em espaços de solução complexa, especialmente aqueles procedimentos que utilizam uma ou mais estruturas de vizinhança como um meio de definir movimentos admissíveis à transição de uma solução para outra. O grau em que são exploradas as vizinhanças, varia de acordo com o tipo de procedimento. No caso de certos procedimentos de base populacional, tais como algoritmos genéticos, as vizinhanças são implicitamente definidas por referência a substituição de componentes de uma solução com os de outra, por regras de troca com o nome de "Crossover". (GENDREAU; POTVIN, 2011).

Uma série de ferramentas e mecanismos que surgiram a partir da criação de métodos metaheurísticos provaram ser extraordinariamente eficazes, tanto que as metaheurísticas estão no centro das atenções nos últimos anos como abordagem principal para resolver muitos tipos de problemas complexos, particularmente aqueles de natureza combinatorial. (GENDREAU; POTVIN, 2011).

Estes resultados têm motivado pesquisas adicionais e aplicação de novas e melhores metodologias de aplicações metaheurísticas.

Apresento, a seguir, duas metaheurísticas que serão de fundamental importância para determinar a solução do problema em estudo neste trabalho.

3.1 Busca Tabu

Busca Tabu (BT), também chamada de programação com memória adaptativa, é um método para resolução de problemas desafiadores no campo da otimização. O objetivo é identificar as melhores decisões, ou ações, a fim de otimizar alguma medida de mérito (tais como a maximização do lucro, eficácia, qualidade e benefício social ou científico) ou minimizar alguma medida de demérito (custo, ineficiência, etc.). (GLOVER; LAGUNA, 2009).

Aplicações práticas em otimização, abordadas pela Busca Tabu, são extremamente desafiadoras e permeiam os campos de negócios, engenharia, economia, ciência, problemas no gerenciamento de recursos, financeiro e planejamento de investimentos, sistemas de saúde, energia e política ambiental, classificação padrão, biotecnologia e uma série de outras áreas. (GLOVER; LAGUNA, 2009).

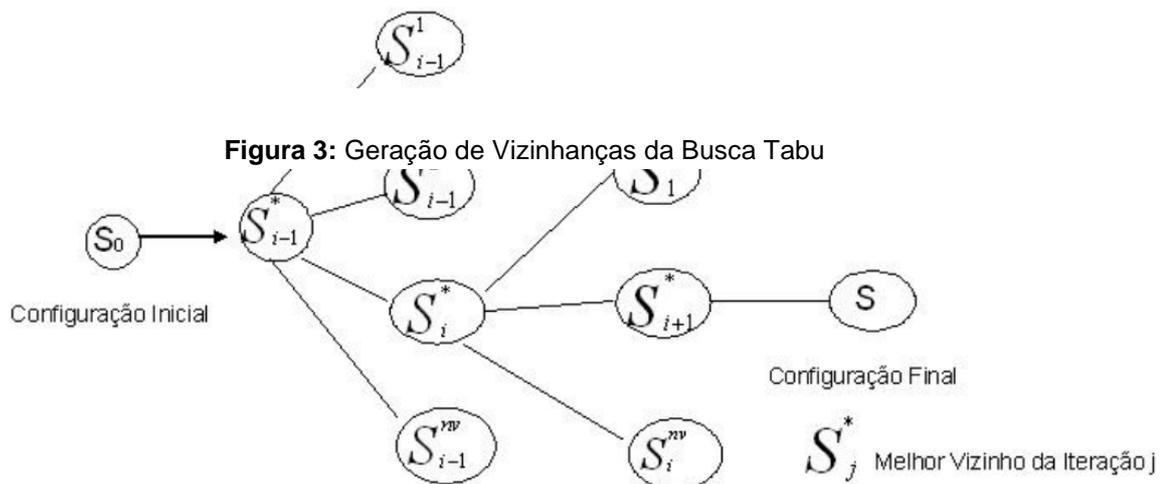
A Busca Tabu tem emergido como uma das principais tecnologias para tratamento de problemas de otimização, que provaram ser difíceis ou impossíveis de resolver o que dominaram a atenção dos livros didáticos e foram considerados os pilares de alternativas disponíveis até tempos recentes.

Uma característica chave da Busca Tabu, sublinhada por seu *alias* de programação de memória adaptativa, é o uso de estratégias especiais projetadas para explorar a memória adaptativa que permite a implementação de procedimentos que são capazes de pesquisar, neste ambiente, econômica e eficazmente (GLOVER; LAGUNA, 2009).

3.1.1 Principais Características

A partir de uma solução inicial viável s_0 , o método explora, a cada iteração, um subconjunto V da vizinhança $N(s)$ da solução corrente s . Considerando um problema de minimização de uma função objetivo $f(\cdot)$, a solução s_0 de V com menor valor da função objetivo nessa região torna-se a nova solução corrente, mesmo que o valor de s_0 seja pior que s , isto é, mesmo que $f(s_0) > f(s)$. No entanto, a melhor solução gerada até o momento, s^* , é sempre armazenada. Esta estratégia, entretanto, pode fazer com que o algoritmo entre em um ciclo, isto é, que retorne a uma solução já gerada anteriormente. Para evitar que isto ocorra, existe um mecanismo chamado memória de curto prazo denominado de Lista Tabu. O objetivo dessa lista é tentar evitar movimentos que levem à regiões já visitadas no espaço de soluções, o que, usualmente, é alcançado pela proibição dos últimos movimentos realizados (GLOVER; LAGUNA, 1997).

Esses movimentos são armazenados nesta lista e permanecem proibidos (por isso o nome *tabu*), por um dado número de iterações do algoritmo. Assim, na exploração do subconjunto V da vizinhança $N(s)$ da solução corrente s , ficam excluídos da busca os vizinhos S_0 que são obtidos de s por movimentos que constam na Lista Tabu. O uso da Lista Tabu pode ser muito restritivo para a busca no espaço de soluções, assim, para não desconsiderar soluções de alta qualidade, movimentos com status tabu podem ser aceitos se a nova solução produzida satisfaz um critério de aspiração. Este é um mecanismo que retira, sob certas circunstâncias, o status tabu de um movimento. Deste modo, para cada possível valor v da função objetivo existe um nível de aspiração $A(v)$: uma solução s_0 em V pode ser considerada se $f(s_0) \leq A(f(s))$, mesmo que o movimento esteja na Lista Tabu. A função de aspiração A é tal que, para cada valor v da função objetivo, retorna outro valor $A(v)$, que representa o valor que o algoritmo aspira ao chegar de v . Um critério de aspiração comumente adotado é o critério de aspiração por objetivo. Por este critério, uma solução s_0 ainda que seja gerada, através de um movimento Tabu, é perdoada se $f(s_0)$ for melhor que $f(s^*)$ (no caso de minimização, $f(s_0) < f(s^*)$). A Figura 3 ilustra o processo de geração de vizinhanças na Busca Tabu. (GLOVER; LAGUNA, 1997).



3.1.2 Composição da Busca Tabu

De acordo com Talbi (2009), a BT possui alguns recursos que devem ser consideradas em sua estrutura, são elas:

3.1.2.1 Lista Tabu

A memória de curto prazo (*short-term memorie*) tem como principal objetivo prevenir que a busca visite novamente as soluções já visitadas, por isso também se define um tamanho fixo dessa Lista Tabu, pois não é viável armazenar todas as soluções visitadas por questões de eficiência.

3.1.2.2 Critério de Aspiração

O objetivo da Lista Tabu é evitar que soluções anteriores sejam novamente visitadas. O critério de aspiração, no entanto, permite que soluções sejam visitadas mesmo que se encontrem na Lista Tabu. O critério de aspiração mais comum é satisfeito se o valor da função objetivo de uma determinada solução, pertencente à Lista Tabu, é melhor do que todos valores obtidos anteriormente. Vale ressaltar que o critério de aspiração não obriga selecionar uma solução, mas simplesmente disponibiliza-o perdendo a penalidade atribuída. (GLOVER; LAGUNA, 2009)

3.1.2.3 Mecanismo de Intensificação

Este mecanismo pode ser implementado para incrementar a BT, cujo objetivo é armazenar as soluções de elite (somente as melhores) encontradas durante a busca, priorizando os atributos do conjunto de soluções e posteriormente utilizando-os na busca.

Intensificação é utilizada em muitas implementações de BT, mas nem sempre é necessária. Isso ocorre porque há muitas situações em que a pesquisa realizada pelo processo normal é completa o suficiente. Assim, não há necessidade de desperdiçar tempo computacional a explorar com mais cuidado as porções do espaço de busca que já foram visitados (GENDREAU; POTVIN, 2011).

3.1.2.4 Mecanismo de Diversificação

Este mecanismo, por sua vez, é responsável por armazenar as soluções visitadas ao longo da busca, explorando as áreas não visitadas do espaço de soluções, com intuito de desestimular os atributos das soluções de elite para diversificá-la, levando-a para outras áreas do espaço de busca.

Há, pelo menos, duas principais técnicas de diversificação. A primeira, chamada de *restart diversification*, envolve forçar alguns componentes raramente usados na solução atual (ou a solução mais conhecida) e reiniciar a pesquisa a partir deste ponto. Em uma heurística CVRP (*Classical Vehicle Routing Problem*), os clientes que ainda não tenham sido movidos com frequência poderia ser forçado a novas rotas. O segundo método de diversificação, é a diversificação contínua, que integra considerações de diversificação diretamente no processo de busca regular (GENDREAU; POTVIN, 2011).

3.1.3 Período Tabu

O período Tabu corresponde ao número de iterações que uma determinada solução, ou atributo, permanece como tabu e possui fundamental importância para a eficiência da busca, pois, períodos muito curtos podem gerar ciclos, já os longos podem prejudicar o processo de solução.

O período Tabu pode ser de dois tipos: Estático ou Dinâmico. O período Estático é fixo durante toda a busca e todos os elementos permanecem na Lista Tabu pelo mesmo número de iterações.

O Dinâmico não possui um período constante, e cada iteração pode ter um período diferente durante a busca e podem ser gerados de forma randômica ou sistemática.

3.1.4 Critério de Parada

Na teoria, a BT poderia continuar para sempre, a menos que o valor ideal do problema em questão fosse conhecido de antemão. Na prática, obviamente, a busca tem que ser interrompida em algum ponto. Os critérios de parada mais comuns segundo Gendreau e Potvin (2011) utilizados na BT são:

- depois de um número fixo de iterações (ou um valor fixo de tempo de CPU);
- depois de algum número de iterações, sem uma melhoria no valor da função objetivo (o critério utilizado na maioria das implementações);
- quando o objetivo atinge um valor limite pré-determinado. A pesquisa é normalmente encerrada após uma sequência de fases, a duração de cada fase é determinada por um dos critérios acima.

3.1.5 Algoritmo Busca Tabu

O Algoritmo proposto por Gendreau e Potvin (2011) representa, na sua forma mais simples, os passos de uma Busca Tabu sendo representado em detalhes para o caso de minimização, de acordo com o pseudocódigo, conforme a Figura 4. Passos adicionais podem ser inseridos de acordo com o problema que se deseja explorar.

```

Função Busca Tabu ( $S(\cdot), N(s), T, BTmax$ )

1 Início

2  $S \leftarrow S_0, f^* \leftarrow f(S_0), S^* \leftarrow S_0;$ 

3  $T \leftarrow 0;$ 

4 Enquanto <critério de parada não for satisfeito> faça

5     Selecione  $S$  in  $\text{argmin}_{S' \in \tilde{N}(S)} [f(S')];$ 

6         Se  $f(S) < f^*$ , então faça  $f^* \leftarrow f(S), S^* \leftarrow S;$ 

7         Atualize a Lista Tabu ( $T$ );

8         Fim se;

9 Fim Enquanto;

10 Retorne  $S^*$ ;

11 Fim Busca Tabu;

```

Figura 4: Algoritmo Clássico da Busca Tabu

Onde,

- S , é a solução atual,
- S^* , é a melhor solução conhecida,
- f^* , é o valor de S^* ,
- $N(S)$, é a vizinhança de S ,
- $\tilde{N}(S)$, é o subconjunto admissível de $N(S)$ (não-tabu ou permitido por aspiração),

- T, é a Lista Tabu.

A partir de uma solução inicial S_0 , o método explora, a cada iteração, um subconjunto $\tilde{N}(S)$ da vizinhança $N(s)$ da solução corrente S. O membro S' de $N(S)$ com menor valor de FO nessa região, segundo a função $f(\cdot)$, torna-se a nova solução corrente, mesmo que s' seja pior que s , isto é, que $f(s) < f(s')$.

No entanto, isso faz com que o algoritmo entre em *loop*, ou seja, retorne as soluções já encontradas anteriormente, utilizando o critério de melhor vizinho.

Para solucionar este problema, emprega-se a memória de curto prazo ou Lista Tabu (linha 3 da Figura 4). O objetivo dessa lista é evitar movimentos que levem a regiões já visitadas, proibindo os últimos movimentos realizados. Esses movimentos são armazenados nessa lista (com *status* tabu).

A linha 5 representa a busca pelo melhor elemento, no caso de minimização $f(s) < f^*$.

Por fim, é atualizada a Lista Tabu (linha 7 da Figura 4) e o processo recomeça caso o critério de parada não for satisfeito. Na linha 10 da Figura 4, a melhor solução retorna para S^* .

Uma grande parte das pesquisas recentes em BT lida com várias técnicas para tornar a busca mais eficaz, como exemplo temos a busca paralela. (CRAINIC; TOULOUSE; GENDREAU, 1997) e (CUNG; MARTINS; RIBEIRO; ROUCAIROL, 2002). Estas técnicas tem procedimentos para explorar melhor as informações que ficam disponíveis durante a busca e indicar os melhores pontos de partida, bem como operadores de vizinhanças mais eficientes e estratégias de busca paralelas. As inúmeras técnicas, para fazer melhor uso da informação são de particular importância, uma vez que pode levar a melhorias de desempenho significativo. Algumas dessas técnicas utilizam as soluções de elite (melhores soluções obtidas) ou parte destas soluções para criar soluções mais otimizadas. A lógica é que fragmentos ou elementos de excelentes soluções são identificados muito cedo no processo de busca, contudo, o desafio é completar estes fragmentos ou recombina-los.(GENDREAU; POTVIN, 2011).

Por fim, outra tendência importante na BT (isso é, de fato, uma tendência generalizada em todo o campo metaheurísticas) é a hibridização, ou seja, utilizando a BT em conjunto com outras heurísticas, tais como: Algoritmos Genéticos, Relaxação

Lagrangeana, Programação por Restrições, Geração de Colunas e técnicas de Programação Inteira.(GENDREAU; POTVIN, 2011).

3.2 Algoritmo Genético

Algoritmos Genéticos (AG), são métodos de otimização e busca inspirados nos mecanismos de evolução de populações de seres vivos. Foram introduzidos por John Holland (Holland, 1975) e popularizados por um dos seus alunos, David Goldberg (Goldberg, 1989). Estes algoritmos seguem o princípio da seleção natural e sobrevivência do mais apto, declarado em 1859 pelo naturalista e fisiologista inglês Charles Darwin em seu livro A Origem das Espécies. De acordo com Charles Darwin, “Quanto melhor um indivíduo se adaptar ao seu meio ambiente, maior será sua chance de sobreviver e gerar descendentes”

Algoritmos Genéticos, constituem uma técnica de busca e otimização, altamente paralela, inspirada no princípio Darwiniano de seleção natural e reprodução genética (PACHECO, 1999).

Já em (TANOMARU, 1995), complementa-se que Algoritmos Genéticos (AGs) são métodos computacionais de busca baseados nos mecanismos de evolução natural e na genética. Em AGs, uma população, de possíveis soluções, evolui de acordo com operadores probabilísticos concebidos a partir de metáforas biológicas, de modo que há uma tendência de que, na média, os indivíduos representem soluções cada vez melhores à medida que o processo evolutivo continua.

Otimizar significa buscar uma melhor solução, para um determinado problema, no espaço de soluções viáveis definido. Um exemplo de otimização é observado na melhoria da imagem de uma TV; a medida que sua antena muda de posição a fim de buscar uma melhor imagem (CARVALHO; LACERDA, 1999). Os problemas mais comuns de busca e otimização possuem geralmente duas características importantes:

- Um espaço de busca, onde estão todas as possíveis soluções do problema;
- Uma função de aptidão, cujo objetivo é avaliar e atribuir um valor para cada solução encontrada.

3.2.1 Principais Características

Os Algoritmos Genéticos possuem, de um modo geral, as características listadas a seguir (TANOMARU, 1995):

- Operam em uma população ou conjunto de pontos, e não a partir de um ponto isolado;
- Trabalham em um espaço de soluções codificadas e não codificadas (quando utilizam os próprios valores do espaço de soluções, chamada de codificação real) no espaço de busca;
- Necessitam somente da informação contida na Função Objetivo/aptidão sobre o valor de cada membro da população, não requerem derivadas ou qualquer outro tipo de conhecimento;
- Usam transições probabilísticas e não regras determinísticas.

3.2.2 Tipos de Representação

Existe uma relação análoga entre os Algoritmos Genéticos e a representação natural proposta em (PACHECO, 1999) que será representada, através da Tabela 1.

Tabela 1: Representação AG x Representação Natural

NATUREZA	ALGORITMOS GENÉTICOS
Cromossomo	Palavra binária, vetor, etc
Gene	Característica do problema
Alelo	Valor da característica
Loco	Posição na palavra, vetor
Genótipo	Estrutura
Fenótipo	Estrutura submetida ao problema
Indivíduo	Solução
Geração	Ciclo

Representar as possíveis soluções do espaço de busca define a estrutura do cromossomo a ser manipulado pelo algoritmo. Essa representação cromossômica depende do tipo de problema e do que, essencialmente, se deseja manipular geneticamente. Os principais tipos de representação estão ilustradas na Tabela 2 (PACHECO, 1999):

Tabela 2: Representação Cromossômica

REPRESENTAÇÃO	PROBLEMAS
Binária	Numéricos, Inteiros
Números Reais	Numéricos

Permutação de Símbolos
Símbolos Repetidos

Baseados em Ordem
Grupamento

A representação binária é simples, fácil de manipular cromossomos, através dos operadores genéticos; fácil de ser transformada em números inteiro ou real; e, ainda, facilita a prova de alguns teoremas. Todavia, a representação por números reais (ponto flutuante) oferece melhor desempenho (PACHECO, 1999). Por exemplo, seja o problema de encontrar o valor máximo da função $f(x) = x^3$, $x=2$. Podemos representar as soluções do problema através dos cromossomos (C1 e C2) de 6 bits, onde o C1 representa o valor de x e o C2 representa o resultado da função $f(x) = x^3$, conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Representação Binário de um Cromossomo

	CROMOSSOMO	VALORES
C1	0 0 0 0 1 0	$X = 2$
C2	0 0 1 0 0 0	$X = 8$

Um binário também pode representar um número real $X_R \in [X_{\min}, X_{\max}]$, com precisão decimal. Para isso são necessários K bits, sendo K calculado pela inequação (1): $2^k \geq (X_{\max} - X_{\min}) \times 10^{-k}$ (1).

De qualquer forma, o primeiro passo para a representação de um problema utilizando um Algoritmo Genético é aplicando cada possível solução do espaço de busca como uma sequência de símbolos “s” gerados a partir de um alfabeto finito. (TANOMARU, 1995). No caso mais simples, emprega-se o uso do Alfabeto Binário, $A = \{0,1\}$, em um caso mais específico emprega-se o uso de outras representações conforme Tabela 2.

3.2.3 Exemplo de um Algoritmo Genético

A Figura 5 mostra um pseudocódigo de um Algoritmo Genético típico cujo objetivo é gerar uma população inicial de cromossomos, formada por um conjunto aleatório que representa as possíveis soluções de um problema a ser resolvido.

Durante o processo evolutivo, a população é avaliada e cada cromossomo recebe uma nota (aptidão), que reflete a qualidade da solução que ele representa.

De modo geral, os cromossomos mais aptos são selecionados e os menos aptos são descartados (darwinismo) (CARVALHO; LACERDA; 1999).

Os

```
Seja  $S(t)$  a população de cromossomos na geração  $t$ .  
 $t \leftarrow 0$   
inicializar  $S(t)$   
avaliar  $S(t)$   
enquanto o critério de parada não for satisfeito faça  
     $t \leftarrow t + 1$   
    selecionar  $S(t)$  a partir de  $S(t-1)$   
    aplicar crossover sobre  $S(t)$   
    aplicar mutação sobre  $S(t)$   
    avaliar  $S(t)$   
fim enquanto
```

cromossomos selecionados poderão sofrer modificações em suas características fundamentais através dos processos (operadores) de cruzamento e mutação, que formarão a próxima geração (CARVALHO; LACERDA;, 1999). Este processo se repete até que o critério de parada seja atendido.

Talbi (2009) apresenta outra forma de implementar esse processo, ilustrado na Figura 6, onde são apontadas algumas características particulares que valem ser ressaltadas a seguir:

```

Gerar (P(0)); /* População Inicial
1      T=0;
2      Enquanto o critério de parada não for satisfeito faça
3      Avaliar (P(t));
4      P'(t) = Seleção (P(t));
5      P'(t) = Reprodução (P(t)); Avaliação (P(t));
6      P(t+1) = Substituição (P(t), P'(t));
7      Fim Enquanto
8      Saída ('melhor população encontrada')

```

Figura 6: Algoritmo Evolucionário

Onde,

- $P(t)$, é a População,
- $P'(t)$, é a melhor População encontrada,
- t , é o indivíduo da População $P(t)$,

Após a geração da população inicial, o pseudocódigo ilustrado na Figura 6 sugere uma **avaliação** (linha 3 da Figura 6), onde todos os indivíduos da população serão avaliados e receberão uma nota. Logo após a avaliação, será feita a **seleção** (linha 4 da Figura 6) desses indivíduos (os que obtiveram as melhores notas). Em seguida ocorre **reprodução** (linha 5 da Figura 6) e novamente submete a **avaliação**. Por fim o algoritmo faz uma **substituição** (linha 6 da Figura 6) através de um método comparativo simples que indicará a melhor população ao final do processo.

Contudo fica claro que a implementação de um AG requer muitas decisões práticas. As questões iniciais a serem consideradas referem-se a geração população: em primeiro lugar o seu tamanho e em segundo o método pelo qual seus indivíduos são escolhidos. O tamanho da população tem sido abordado sob vários pontos de vista teórico, embora a ideia subjacente é sempre de um compromisso entre eficiência e eficácia (GENDREAU; POTVIN, 2011).

3.2.4 Operadores Genéticos: Seleção

A operação de seleção incide na busca de uma melhoria em termos de aptidão (*fitness*) do indivíduo, para que este possa ser levado à uma próxima geração com maior probabilidade e com isso garantir a qualidade das gerações futuras (TALBI, 2009). Neste trabalho este operador será visto com maiores detalhes no capítulo 5, seção 5.3.3.3.

3.2.5 Operadores Genéticos: Cruzamento

Indivíduos selecionados e recombinados para a geração futura são reproduzidos, através do operador de cruzamento, sendo este considerado um dos operadores fundamentais dos AGs (PACHECO, 1999).

Por exemplo se pegarmos o exemplo da Tabela 3 teremos:

GENITOR	CROMOSSOMO	VALORES	F(G)
G1	0 0 0 1 0	X = 2	8
G2	0 0 1 0 0 0	X = 8	512

Calculando $f(x) = x^3$, obteremos os seguintes resultados:

$F(G1) = 8$; $F(G2) = 512$.

Tabela 4: Processo de Crossover

GENITOR	CROMOSSOMO	VALORES	F(G)
G1	0 0 0 0 1 0	X = 2	25
G2	0 0 1 0 0 0	X = 8	64

Fonte: Elaborada pelo autor

O processo de cruzamento, é realizado com a troca dos seus 03 últimos bits conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 5: Resultado do Crossover

DESCENDENTE	CROMOSSOMO	VALORES	F(D)
D1	0 0 0 0 0 0	X = 0	0
D2	0 0 1 0 1 0	X = 10	1000

Fonte: Elaborada pelo autor

O resultado do cruzamento é apresentado na Tabela 5. Dada a função $f(x) = x^3$, significa dizer que o D2 é o cromossomo mais apto que seus genitores enquanto que D1 é um ser medíocre, devendo ser descartado.

Talbi (2009) aponta também que alguns fatores importantes devem ser considerados quanto ao uso da operação de *crossover* que são:

- Herança: O indivíduo gerado a partir do crossover deve receber como herança o material genético de ambos os pais.
- Validade: O resultado da operação de crossover deverá produzir soluções válidas, porém, nem sempre isso é possível, principalmente quando houver restrições nos problemas de otimização.

Vale ressaltar que o cruzamento, possui uma probabilidade associada, normalmente próximo de 1.

Neste trabalho este operador será visto com maiores detalhes no capítulo 5, seção 5.3.3.4.

3.2.6 Operadores Genéticos: Mutação

A mutação é um operador exploratório que tem como função diversificar a população, a Tabela 6 ilustra este processo. O operador de mutação troca o gene, símbolo ou alelo de um conteúdo de um cromossomo, a probabilidade geralmente é baixa, porém, a depender do problema e do operador, essa probabilidade pode ser bastante variável. (PACHECO, 1999).

Tabela 6: Resultado da Mutação

DESCENDENTE	CROMOSSOMO	MUTAÇÃO	VALORES	F(D)	
D2	0 0 0	1 0 1	antes	X = 5	125
D2	0 0 0	1 0 0	depois	X = 4	64

Neste exemplo da Figura 6, a mutação ocorreu com o último binário do cromossomo D2, que antes era 1 e passou a ser 0.

Neste trabalho este operador será visto com maiores detalhes no capítulo 5, seção 5.3.3.5.

3.2.7 Critério de Parada

Ao contrário dos métodos simples busca na vizinhança, que terminam quando um ótimo local é atingido, AGs são métodos de busca estocásticos que poderiam, a princípio, ter o funcionamento contínuo. Na prática, é necessário um critério de parada. Abordagens comuns são definir um limite para o número de avaliações de aptidão, ou a hora do relógio do computador ou controlar a diversidade da população e parar quando esta cai abaixo de um limiar definido. O significado da diversidade no último caso, nem sempre é óbvio, e pode estar relacionado tanto ao genótipo ou

fenótipo, ou mesmo, de modo concebível, às aptidões, mas a forma mais comum de medir isso é por meio de estatística dos genótipos. Por exemplo, poderíamos decidir terminar uma corrida, se em cada locus a proporção de um alelo particular, está acima de 90%. Algumas tentativas foram feitas por Aytug e Koehler (2000), Greenhalgh e Marshall (2000) para atacar este problema de um ponto de vista teórico, mas como eles são baseados na idéia de encontrar uma garantia probabilística que todas as cadeias possíveis foram vistas, a sua aplicação prática é limitada (GENDREAU; POTVIN, 2011).

4 TRABALHOS RELACIONADOS

Esse capítulo apresenta alguns trabalhos realizados nos últimos 10 anos, no âmbito da área de atuação deste trabalho.

Kukhmay (2006) mostraram resultados de duas experiências subjetivas utilizando um modelo de Rede IP transportando MPEG2, através de informações sobre Transporte *Stream* (TS). Foi observado que a maneira de inserir os pacotes TS em cada um dos pacotes IP influencia diretamente sobre a qualidade da imagem, ou seja, quanto maior a quantidade de pacotes TS sobre o protocolo IP, menos a distorção da imagem é perceptível, proporcionando maior qualidade de imagem, otimizando, a distribuição IPTV.

Caja (2007) implementou a criação de duas camadas de replicação *multicast*: uma de extremidade da rede (Acesso Node) e a outra na camada de rede de agregação, perto dos nós de acesso. O primeiro recebe os canais mais acessados para esse nó em um determinado período do tempo, enquanto o outro recebe os canais restantes. As classificações desses canais são feitas levando-se em conta vários fatores como índices de audiência históricos, aceitação prevista de programas, número de usuários *on-line*, etc. Esta adaptação dinâmica de quais canais são mantidos nos nós de acesso ajuda a reduzir a utilização da largura de banda no gargalo da rede, enquanto fornece uma arquitetura de replicação simples que garante um desempenho aceitável de tempos de troca de canal.

Shihab e Cai (2007) fez uma comparação de tecnologias de banda larga utilizadas nas redes domésticas de distribuição IPTV, para medir as taxas de transmissão. Vale ressaltar que esta medida está presente na formulação do modelo matemático deste trabalho e servirá como chave fundamental para se calcular a variável de decisão Eficiência da Transmissão (E_f) necessária por informar a porcentagem de usuários que foram atendidos para cada solução apresentada.

Weissheimer (2012) apresentou um modelo computacional, a partir de uma parametrização da arquitetura IPTV do Projeto DIGICONV, a fim de obter melhorias na qualidade de transmissão IPTV através de soluções híbridas utilizando metaheurísticas como BT e AG.

Linck (2012) apresentou políticas de configuração dos parâmetros de codificação de vídeo para TV digital. No trabalho, a autora aborda o uso de metaheurísticas BT e AG para encontrar a melhor configuração para a transmissão

IPTV e desenvolve um algoritmo híbrido utilizando essas duas metaheurísticas para a realização de experimentos para soluções de problemas de otimização combinatória, conforme as especificações da Arquitetura do Modelo Sistemático do projeto Desenvolvimento de uma Plataforma de Convergência Digital: TV Digital / IPTV / Dispositivos Móveis, financiado pelo FUNTTEL, Chamada Pública FINEP/FUNTTEL, características 02/2009, DIGICONV. (BARBOSA; CHIWIACOWSKY; CRESPO; GLUZ; GÓMEZ; MARTINS; MORENO; 2010).

Neste trabalho foi desenvolvido um algoritmo que faz a otimização do módulo IPTV, através da definição dos parâmetros de entrada taxa de transmissão (Tt), qualidade de vídeo (Qv), qualidade de áudio (Qa), Tipo de clientes (Tc), largura de banda disponível do cliente (Lb) e a quantidade de banda disponível (Bd), utilizando as metaheurísticas Busca Tabu e Algoritmo Genético para obtenção de melhores taxas no âmbito da transmissão para IPTV, além de garantir a Eficiência da Transmissão (Ef).

A Tabela 7, mostra a comparação dos trabalhos relacionados com relação a melhorias na taxa de transmissão, ferramentas e parâmetros utilizados.

Tabela 7: Comparação entre os Trabalhos Relacionados

AUTORES	OBTEVE MELHORIAS NA TAXA DE TRANSMISSÃO?	FERRAMENTAS UTILIZADAS	PARÂMETROS UTILIZADOS
Kukhmay, et al.(2006)	sim	TS sobre IP: Quanto maior, melhor.	Subjetivo
Caja (2007)	sim	Camadas de replicação <i>multicast</i> : extremidade da Rede (<i>Acess Node</i>); rede de agregação perto dos nós de acesso	Nós de acesso
Shihab e Cai(2007)	-	Comparação de tecnologias de Banda Larga.	Lb
Weissheimer (2012)	sim	Algoritmos Híbridos: BT e AG	Tt, Qv, Qa, Ncli e Lb
Linck (2012)	sim	Configuração dos parâmetros de vídeo utilizando Algoritmos Híbridos: BT e AG	H.261..H.264 – ITU-T MPEG-1.. MPEG-4
Este trabalho	sim	Faz o gerenciamento dos parâmetros de entrada utilizando Algoritmos: BT e AG	Tt, Qv, Tc, Lb, Qa e Bd

As duas antepenúltimas pesquisas serviram de incentivo para a pesquisa atual, oferecendo como base, as ferramentas necessárias para o desenvolvimento do protótipo computacional envolvendo duas metaheurísticas (BT, AG) que farão parte do modelo computacional proposto por este trabalho, detalhado no capítulo 5.

5 MODELO PROPOSTO

O Modelo Computacional é descrito neste capítulo, através de sua arquitetura e formulação matemática.

5.1 Arquitetura do Modelo

Vários modelos de transmissão de IPTV são utilizados na atualidade, podemos citar a CISCO, que possui suas próprias variações de modelo com intuito de melhorar o enquadramento dentro do seu objetivo, assim como projetos, como o DIGICONV, além de diversas outras empresas que compõem o projeto *Digital Video Broadcasting (DVB)*.

Em um modelo de IPTV, uma emissora precisa necessariamente codificar um sinal de YUV - 4.2.0 para H.264 em 03 diferentes modos, *High Definition (HD)*, *Standard Definition (SD)* e *Low Definition (LD)*, para que seja possível abarcar um conjunto de diferentes dispositivos com o intuito de disponibilizar uma quantidade maior de conteúdos de multimídia interativos, tanto como os domésticos (*Set-Top-Box*), com alto poder de processamento e apresentação, e dispositivos móveis com recursos limitados, como celulares, *tablets*, por exemplo (BARBOSA; CHIWIACOWSKY; CRESPO; GLUZ; GÓMEZ; MARTINS; MORENO; 2010).

A diferença fundamental entre os padrões TVD e IPTV é que, no segundo, o principal objetivo é a disseminação do conteúdo com o mínimo de perda da qualidade em um número abrangente de dispositivos com características físicas diferentes.

Na Figura 7, é apresentada a arquitetura do modelo de transmissão IPTV da Plataforma de Convergência Digital do projeto DIGICONV.

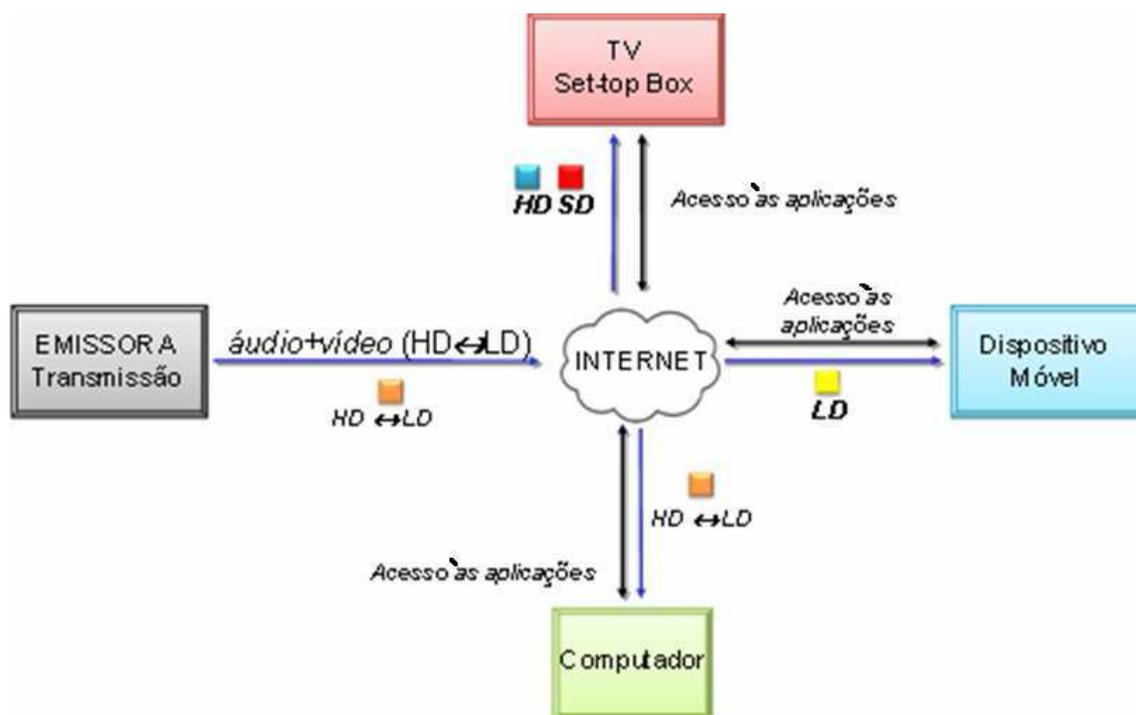


Figura 7: Arquitetura de Transmissão IPTV

Este modelo serviu de referência para o projeto DIGICONV. Como mostra a Figura 7, o vídeo e o áudio são transmitidos por uma emissora e o formato do vídeo pode ser HD, SD e LD. A transmissão é realizada utilizando a Internet. O formato de vídeo é entregue de acordo com o tipo de equipamento do usuário, ou seja, para dispositivos móveis o vídeo disponível é no padrão LD.

A Figura 7, também inclui dispositivos móveis, cuja disponibilidade ocorreu a pouco tempo. Por isso, para os dispositivos de TV que possuem receptores domésticos (*Set-Top-Boxes*), as qualidades disponibilizadas são a HD e SD. Já para os dispositivos tais como os *PC's*, a transmissão é baseada no protocolo IP, ou seja, computador + IPTV ou celular + IPTV, podem ser entregues uma infinidade de qualidades de vídeo, que vão desde a HD até a LD, que por sua vez, possibilitam abranger uma gama de características para uma melhor configuração em uma transmissão IPTV. Neste trabalho, iremos explorar essas variáveis mais relevantes para essa transmissão (BARBOSA; CHIWIACOWSKY; CRESPO; GLUZ; GÓMEZ; MARTINS; MORENO; 2010).

A Figura 8, detalha o processo e o fluxo de entrada dos arquivos de dados, vídeo e áudios que entram na arquitetura, pelo processo de geração de conteúdo. A

arquitetura da plataforma de convergência (PLAT_CONV) recebe esses arquivos (dados, vídeos, áudios) e enviam para o servidor de acesso, que classifica o tipo de transmissão em dois tipos: tempo real (TR) e a transmissão de vídeo sob demanda (TVoD), solicitada pelo usuário.

Transmissão em Tempo Real: Os arquivos retornam para o módulo PLAT_CONV onde serão processados e codificados, e em seguida são enviados para o Adaptador de Interface de rede (ADAP_IP) que faz a entrega para o usuário via protocolo RTP.

Transmissão sob Demanda: Para a transmissão sob demanda, o PLAT_CONV transfere as informações para o servidor multimídia, onde serão armazenados os arquivos de áudio, vídeo e dados, podendo ser solicitados através de autenticação no servidor de acesso, pelo usuário, através da Internet e pelo dispositivo do usuário/cliente. Após a definição do arquivo escolhido no servidor multimídia, o mesmo é enviado para o ADAP_IP e transmitido até o usuário/cliente através do RTP.

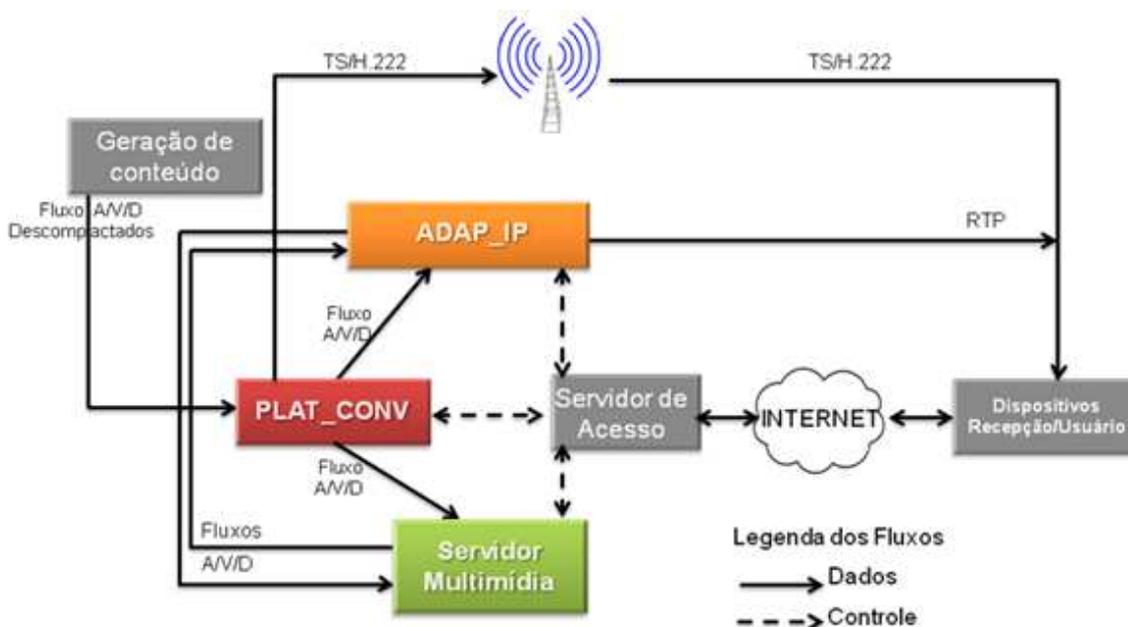


Figura 8: Arquitetura da Plataforma de Convergência Digital - DIGICONV

5.2. Modelo Computacional

O problema proposto possui uma complexidade computacional NP-Difícil, definida pelo Problema de Escalonamento, onde os pacotes são transmitidos para o

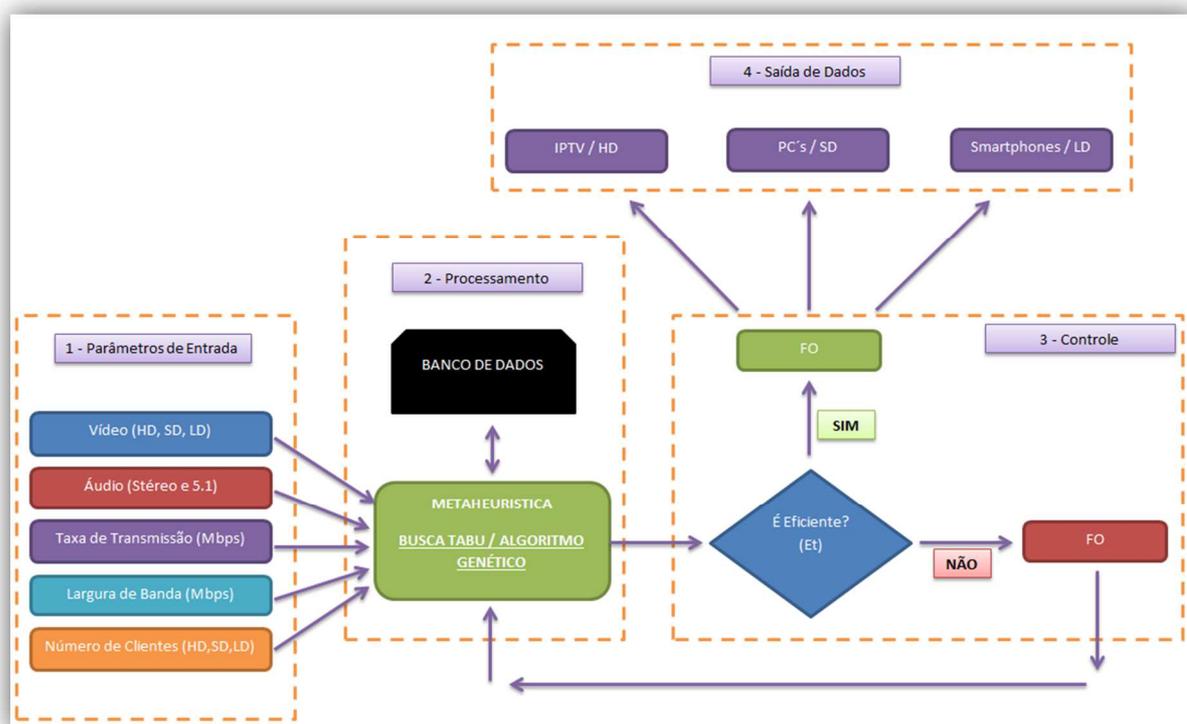
usuário, através da abordagem do Problema de Seleção de Partes. O problema do escalonamento pode ser observado em diversas áreas: hospitais, logística, tecnologia da informação, etc, e que por sua vez, tem sido pesquisado desde 1950. (WEISEMMEIR, 2012).

O Problema de Seleção de Partes busca o agrupamento das partes, baseado em similaridades, tais como: forma geométrica, processo, similaridade por um mesmo conjunto de ferramentas entre outros, podendo ser utilizado em transmissões para um conjunto de clientes IPTV (WEISSHEIMER, 2012).

O escalonamento consiste basicamente em dada uma quantidade significativa de tarefas, selecioná-las, ordená-las em relação ao tempo de forma a serem executadas. A busca de soluções ótimas para este problema é, na maioria dos casos, inaceitável, devido ao grande tempo de execução envolvido. Assim, é necessário se obter algoritmos rápidos, mas que possuam uma boa garantia de performance (MIYAZAWA, 2015).

A Figura 9 mostra a estrutura do Modelo proposto neste trabalho, dividido em 4 módulos, detalhados a seguir.

Figura 9: Estrutura do Modelo Proposto



5.2.1 Parâmetros de Entrada.

Nesta seção, serão definidos os seis parâmetros de entrada do modelo, são eles parâmetros de vídeo, áudio, taxa de transmissão, largura de banda, quantidade de clientes separados por tipo e banda disponível. Os formatos de entrada de vídeo são HD (*High Definition*) com imagem de 1080 linhas no aspecto 16:9 (*Widescreen*), SD (*Standard Definition*) com apenas 525 linhas e também no formato LD (*Low Definition*), o qual é bastante utilizado na transmissão de vídeo para dispositivos móveis devido a sua diversidade computacional limitada, através de seus recursos de *hardware* (WEISSHEIMER, 2012).

Para os parâmetros de áudio temos dois formatos (áudio *stéreo* e áudio 5.1). Já a taxa de transmissão representa o total, em Megabits por segundo, que o sistema está transmitindo. A largura de banda é limitada pela disponibilidade do cliente, em virtude do uso e/ou da quantidade de equipamentos utilizados para receber uma transmissão de vídeo, podendo ser nos formatos HD, SD e LD. Através da banda disponível é possível calcular a Eficiência da Transmissão (E_f), ou seja, determinando quantos clientes foram atendidos em cada transmissão.

A Figura 10 explica a relação entre Banda Disponível (B_d) e Eficiência da Transmissão (E_f), quando $B_d > 0$. Já Figura 11 explica a relação entre Banda Disponível (B_d) e Eficiência da Transmissão (E_f), quando $B_d < 0$:

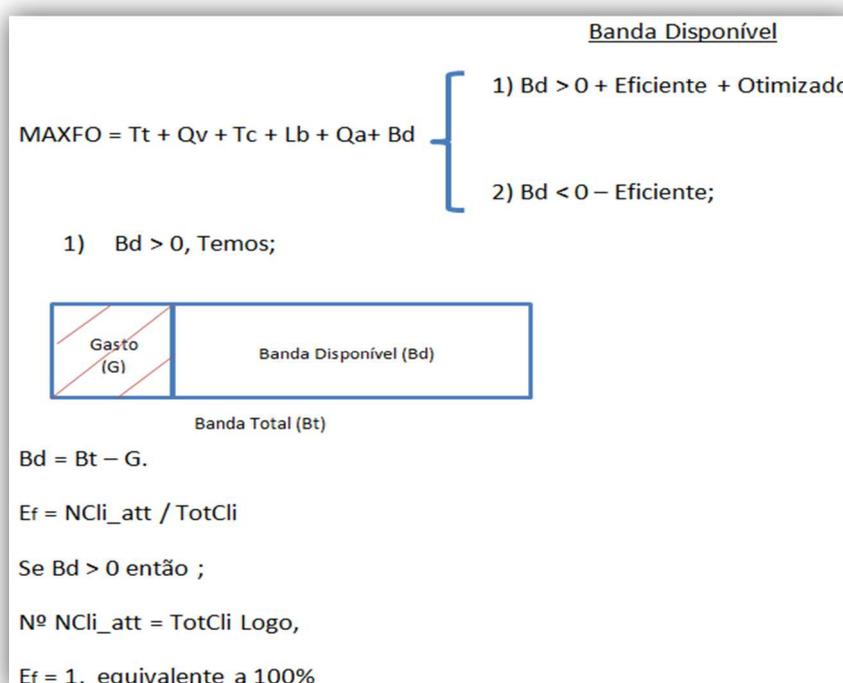


Figura 10: Banda Disponível Quando $B_d > 0$

Onde,

Bd = Banda Disponível;

Bt = Banda Total;

G = Gasto;

Ef = Eficiência da Transmissão;

NCli_Att = Número de Clientes Atendidos;

TotCli = Total de Clientes do Sistema;

Nota-se pela Figura 10 que a Ef será 100%, ou seja, todos os clientes serão atendidos, toda vez que Bd for positivo.

Já na Figura 11, acontece o inverso, toda vez que não houver “sobra” de banda, o número de clientes atendidos será inferior ao total de clientes, isso acontece devido a sobrecarga de demanda, ou seja, nem todos os clientes serão atendidos, ocasionando, a diminuição gradativa da Ef.

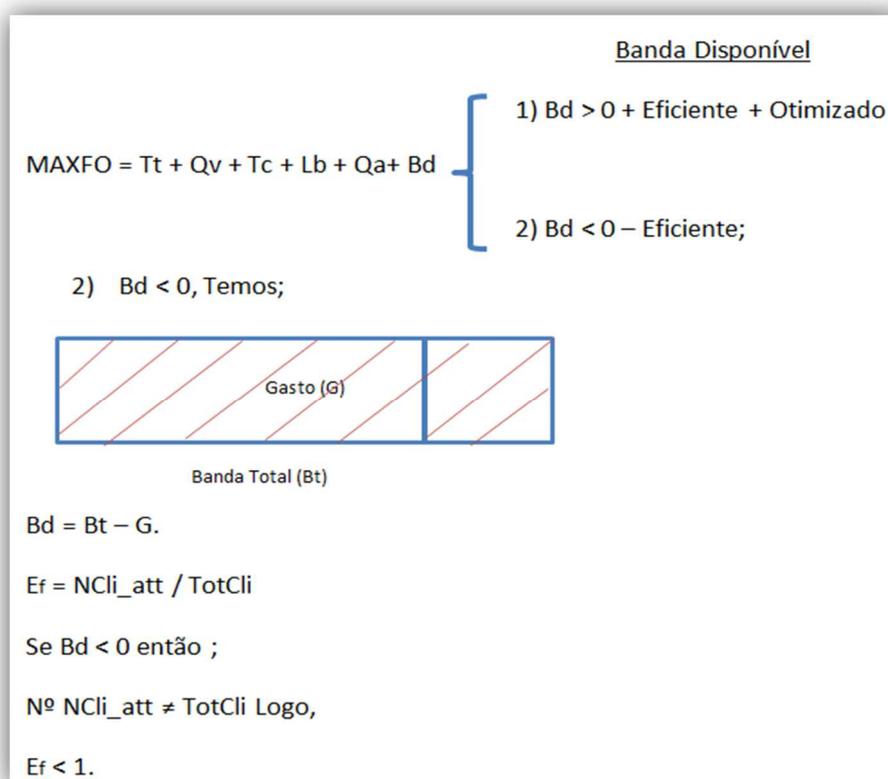


Figura 11: Banda Disponível Quando $Bd < 0$

Sendo assim, a Eficiência da transmissão (Ef) é calculada pela relação entre o número de clientes atendidos e o total de clientes que solicitam a transmissão, podendo ser nos formatos HD, SD e LD.

Todos parâmetros de entrada apresentados na Figura 9, com exceção do número de clientes, foram estabelecidos, através das normativas de referência estabelecidas pelo CPqD (KUTIISHI; PICCOLO; SCHIBELSKY; 2006), que se dá a partir de uma transmissão *Triple-Play* (Áudio, Vídeo e Dados), onde dois formatos de áudio são considerados, Áudio Stereo e Áudio 5.1. Da mesma forma três parâmetros de vídeo (HD, SD e LD) são definidos.

5.2.2 Processamento

A partir da entrada de dados, os algoritmos (BT e AG), separadamente, se encarregam de obter as melhores soluções de configuração para que a melhor transmissão seja efetuada. Nas Figuras 12 e 13, apresentaremos uma visão macro de cada bloco, compreendido pelas Metaheurísticas utilizadas nesse modelo, tendo seu algoritmo detalhado na seção 5.3 e as restrições do modelo na seção 5.4.

5.2.3 Controle

O módulo de controle é responsável por calcular, em porcentagem, a taxa de Eficiência da Transmissão (E_f) em determinado momento do sistema, determinada pela quantidade de usuários existentes e suas respectivas demandas nos formatos de transmissão (HD, SD e LD), além de determinar se o Sistema está sobrecarregado, ou seja, atendendo à uma quantidade superior de clientes permitidos, comprometendo assim sua eficiência. A Função Objetivo (FO) será levada em consideração tanto em caso positivo ou negativo, em relação à eficiência.

5.2.4 Saída de Dados

Como resultado, o modelo proposto informa todos os valores das seis variáveis de decisão: T_t , Q_v , T_c , L_b , Q_a , B_d , além de mostrar os resultados da FO, juntamente com seu desvio padrão, e também a Eficiência da Transmissão (E_f) em porcentagem, indicando se todos os clientes foram atendidos ou se houve sobrecarga de demanda, causando uma diminuição da E_f .

5.2.5 Modelo Matemático

Nesta seção abordaremos os detalhes que compõem cada algoritmo (BT e AG) contemplado no Modelo de Otimização IPTV (MOIPTV), que é uma adaptação

do MCIPTV abordado em (WEISSHEIMER, 2012), além de abordar a formulação do modelo matemático, representado pelo conjunto das variáveis de decisão que irão formar a Função Objetivo (FO) bem como suas restrições. As variáveis de decisão da FO têm como base as características da transmissão de IPTV seguindo ao critério de otimalidade de maximização.

Essas variáveis de decisão são de fundamental importância, pois através das escolhas de perfis e parâmetros pode-se construir uma rede, num determinado local, com serviços definidos que são otimizados e adequados a cada situação em particular. A exemplo, temos a taxa de transmissão e largura de banda (KUTIISHI; PICCOLO; SCHIBELSKY; 2006).

A seguir abordaremos as variáveis de decisão que são:

- A taxa de transmissão (Tt);
- A qualidade de vídeo (Qv);
- A qualidade de áudio (Qa);
- O Tipo de clientes finais (Tc);
- A largura de banda disponível do cliente (Lb);
- A quantidade de Banda Disponível (Bd).

Essas variáveis têm seus valores associados a um intervalo entre o valor mínimo e o valor máximo, os quais são estabelecidos pela norma ITU-T (ITU-T, 2008).

Para a taxa de transmissão (Tt) são definidos, para cada fluxo, os valores máximos e mínimos. Neste trabalho são utilizados os formatos mais conhecidos *High Definition* (HD), *Standard Definition* (SD) e *Low Definition* (LD). Já os formatos P1 e P2, que representam vídeos intermediários, ou seja, P1 representa o formato de vídeo entre HD e SD e P2 representa o formato de vídeo entre SD e LD, não serão considerados. Estes valores são mostrados na Tabela 8.

Tabela 8: Parâmetros da Taxa de Transmissão (Tt)

FORMATO/RANGE	MÍNIMO MB/S	MÁXIMO MB/S
HD	6	100
SD	2	100
LD	0,5	100
P1	2	6
P2	0,5	2

Fonte: (WEISSHEIMER, 2012)

Para a qualidade de vídeo (Qv), os parâmetros foram distribuídos conforme a Tabela 9, assim como os seus intervalos de variação. Essa variável, representa a qualidade de serviços prestado (QoS), abordado na literatura, sem levar em conta sua composição na formulação do modelo matemático. A Qualidade de Serviço é composta pela soma da latência, e para os serviços de IPTV móvel de alta qualidade, apoiando fatores de QoS, tais como perda de pacotes, largura de banda, atraso e *jitter*. É importante ressaltar que sistemas de entrega de IPTV móvel devem ser capazes de lidar com esses fatores através de um projeto cuidadoso do sistema, controle de tráfego, cuidado na rede, ou seja, ser capaz de reagir rapidamente a condições variadas pelo vínculo entre essas variáveis (JEONG; PARK; 2009). Contudo, o domínio em que está inserida a variável leva em consideração um único valor, resultante desta combinação de fatores.

Tabela 9: Qualidade de Vídeo (Qv)

FORMATO/RANGE	MÍNIMO Mb/s	MÁXIMO Mb/s
HD	2	100
SD	0,1	100
LD	0,01	100
P1	0,1	2
P2	0,01	0,1

Fonte: WEISSHEIMER, 2012

Para a variável de qualidade de áudio (Qa), mostrados na Tabela 10, foram estabelecidos os parâmetros de máximo e mínimo dentro do intervalo de 0,096 até 1 Mb, conforme as recomendações da *International Telecommunication Union* (ITU-T) (ITU-T, 2008) que define o fluxo de áudio entre o intervalo de 0,096 Mbs e 0,256 Mbs para transmissão estéreo e, entre o intervalo de 0,384 e 1Mbs para áudio multicanal 5.1 (WEISSHEIMER, 2012)

Como a transmissão de áudio é feita a partir destes dois modos, foram adotados, para cada modo, os menores e os maiores valores, conforme especificação a seguir.(WEISSHEIMER, 2012).

Tabela 10: Qualidade de Transmissão de Áudio (Qa)

FORMATO/RANGE	MÍNIMO MB/S	MÁXIMO MB/S
Audio Stereo	0,096	0,256
Audio 5.1	0,384	1

Fonte: (WEISSHEIMER, 2012)

A maior dificuldade na transmissão de vídeo sobre IP é manter o parâmetro qualidade de vídeo (Q_v) com nível satisfatório, uma vez que a própria rede IP não oferece um serviço de QoS. Para que se mantenha uma boa qualidade, a rede precisa disponibilizar determinados requisitos mínimos de largura de banda, atraso e *jitter*. Contudo a IPTV possui suas próprias limitações, por esse motivo tem se tornado um grande desafio, para alguns autores, tratá-la de maneira satisfatória. Neste trabalho, iremos manipular esses valores de acordo com o proposto por Qiu (2008). Não existe um controle centralizado sobre a transmissão de dados na internet o que torna o controle da qualidade de serviço extremamente difícil.

Entretanto, em sistemas de IPTV, a gestão de QoS pode ser mais simplificada (WEISSHEIMER, 2012).

Segundo Qiu (2008) no IPTV, o prestador de serviços pode não só controlar o sistema de IPTV, mas também controlar o acesso dos usuários à Internet.

Os gargalos de transmissão encontrados na internet, atualmente, são geralmente, no link de acesso do usuário à internet, às vezes chamados de “última milha”, pois no núcleo estão concentradas algumas dezenas de Gbps em fibras ópticas propiciando grandes quantidades de banda larga disponível.

Assim como acontece na Internet, no sistema de IPTV o prestador de serviço tem o controle dos links de acesso à internet, permitindo mais controle sobre a rede e desse modo, garantir o mínimo de QoS de IPTV.

No entanto, este seria o cenário ideal para uma boa qualidade de serviço prestado pela IPTV, mas num cenário real, outros aplicativos de internet estão em execução na rede doméstica, contribuindo para o consumo de banda larga disponível, como por exemplo, uma pessoa que assiste TV e navega pela WEB ao mesmo tempo. Para tratar esse cenário, testes aplicando metaheurísticas podem ser utilizados para escolher a melhor solução, dentre quais pacotes serão descartados, caso excedam a largura de banda disponível para que se mantenha a qualidade de vídeo mínima de transmissão do IPTV (QIU, 2008).

Para o modelo matemático proposto do sistema de IPTV desde trabalho e garantir a qualidade dos serviços IPTV, definiu-se que a capacidade de tráfego IPTV é igual a capacidade do link, ou seja, se a capacidade do link disponível do cliente for 5Mb, então o tráfego de IPTV para essa rede será menor ou igual a 5Mb (WEISSHEIMER, 2012).

A seguir, disponibilizaremos os tipos de bandas que serão abordados por este trabalho bem como sua importância na escolha utilizada pelo modelo.

O WiMAX vem ganhando confiança quando o assunto é velocidade de transmissão sem fio com qualidade e experiência, podendo chegar a uma taxa de transmissão de até 15Mbps real, conforme Tabela 11, baseado no trabalho de Discroll (DRISCOLL, 2008) e pelas normas ITU-T (ITU-T, 2008).

Tabela 11: Tipos de Banda Adotados (Lb)

BANDA/RANGE	MÍNIMO	MÁXIMO
VDSL2	0,128Mbs	52Mbs
ADSL2+	0,128Mbs	25Mbs
WiMax 802.16	0,128Mbs	15Mbs
ADSL2	0,064Mbs	12Mbs
CDMA	0,01Mbs	2Mbs

Fonte: ITU-T, 2008

A Tabela 12 mostra 03 Tipos de Clientes (Tc), criados a partir de uma concepção tecnológica, baseada no quantitativo de banda larga disponível, desenvolvido de forma classificatória, conforme o grau de relevância da pesquisa. A largura de banda do cliente é variável de acordo com alguns modelos de equipamentos, sendo que a capacidade de banda não poderá exceder a capacidade do equipamento.

Tabela 12: Tipos de Clientes (Tc)

Tipo de Cliente (Tc)	Classificação do Cliente	Tipo de Equipamento	Qualidade de Vídeo	Taxa de Transmissão	Largura de Banda necessária
01	Cliente 01	Smart TV	HD	HD	5Mpbs
02	Cliente 02	PC's	SD	SD	3Mpbs
03	Cliente 03	SmartPhones	LD	LD	1,5Mpbs

Fonte: o autor

A partir dessa concepção, consultas públicas foram realizadas em duas plataformas de streaming de vídeo: YouTube e Netflix para descobrir quanto de banda é necessário para realização das transmissões tanto em HD, como em SD e LD. As Figuras 12 e 13 mostram o resultado dessa pesquisa que contribuíram para a tomada de decisão dos indicadores utilizados neste trabalho.

<https://support.google.com/youtube/answer/1722171?hl=pt-BR>

Configurações recomendadas de codificação de envio

Contêiner: MP4

Codec de áudio: AAC-LC

Codec de vídeo: H.264

Frame rate

O conteúdo precisa ser codificado e enviado no mesmo frame rate em que foi gravado.

Frame rates comuns incluem: 24, 25, 30, 48, 50, 60 quadros por segundo (outros frame rates também são aceitos).

Remova o entrelaçamento do conteúdo antes de enviá-lo. Por exemplo, conteúdo em 1080i60 precisa ter o entrelaçamento removido para 1080p30, sendo modificado de 60 campos entrelaçados por segundo a 30 quadros por segundo progressivos.

Taxa de bits

As taxas de bits abaixo são recomendações para envios. A taxa de bits de reprodução de áudio não está relacionada à resolução de vídeo.

Taxas de bits de vídeo recomendadas para envios

Tipo	Taxa de bits de vídeo, frame rate padrão (24, 25, 30)	Taxa de bits de vídeo, frame rate alto (48, 50, 60)
2160p (4k)	35 a 45 Mbps	53 a 68 Mbps
1440p (2k)	16 Mbps	24 Mbps
1080p	8 Mbps	12 Mbps
720p	5 Mbps	7,5 Mbps
480p	2,5 Mbps	4 Mbps
360p	1 Mbps	1,5 Mbps

Taxas de bits de áudio recomendadas para envios

Tipo	Taxa de bits de áudio
Mono	128 kbps
Estéreo	384 kbps
5.1	512 kbps

Figura 12: Configuração de Banda Necessária do YouTube

O indicador que é avaliado nas Figuras 12 e 13 é a taxa de bits (banda) mínima recomendada para que se obtenha o melhor resultado na transmissão de vídeo. Contudo a velocidade de conexão do YouTube é diferente da recomendada pelo Netflix, essas diferenças ocorrem devido as configurações das compressões de vídeo adotado pelo Codec H.264. Para efeito de estudo adotou-se as velocidades recomendadas pela Netflix, uma vez que atribui: 1,5Mbps para Velocidade Recomendada (LD), 3,0Mbps para transmissões em SD e 5,0Mbps para transmissões em HD.

As configurações previstas na Figura 12 apresentam taxas de bits até para tecnologias UltraHD e 4K. Já na Figura 13, por sua vez, essas configurações chegam até Ultra HD.

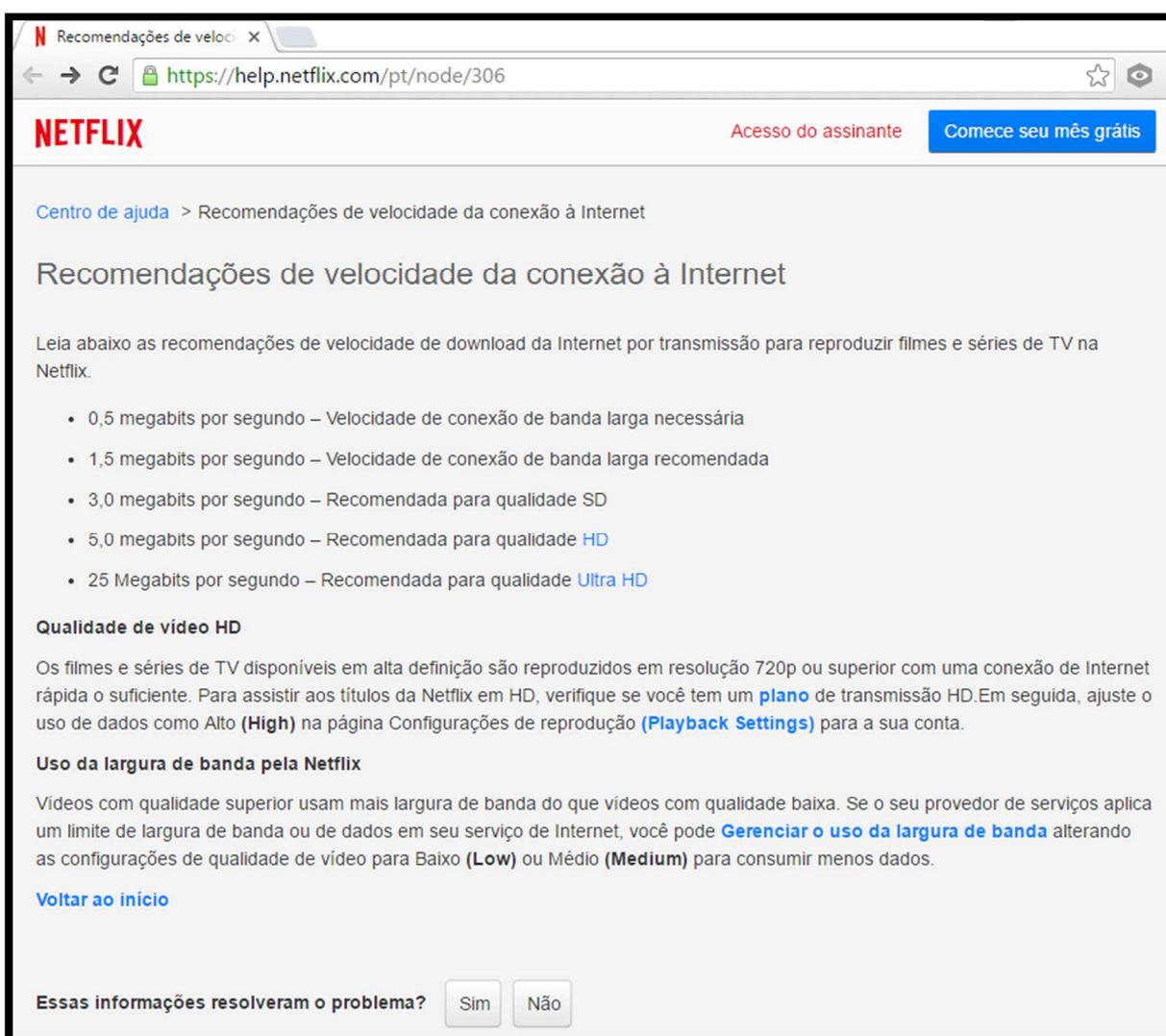


Figura 13: Configuração de Banda Necessária do Netflix

A quantidade de Banda Disponível (B_d) foi devidamente mostrada na secção anterior 5.2.1.

O modelo matemático proposto é descrito a seguir levando em consideração as tabelas descritas nessa secção e também as recomendações da (ITU-T, 2008), para que a melhor configuração seja obtida.

$$\text{MAX FO} = T_t + Q_v + L_b + T_c + Q_a + B_d; \quad (1)$$

onde:

$$T_t = \lambda_{hd}(T_{thd}) + \lambda_{sd}(T_{tsd}) + \lambda_{ld}(T_{tld}); \quad (2)$$

$$Q_v = \beta_{hd}(Q_{hd}) + \beta_{sd}(Q_{sd}) + \beta_{ld}(Q_{ld}); \quad (3)$$

$$L_b = \mu_{hd}(L_{bvds12}) + \mu_{sd}(L_{bWiMax}) + \mu_{ld}(L_{bCDMA}); \quad (4)$$

$$T_c = \alpha_{hd}(T_{Chd}) + \alpha_{sd}(T_{Csd}) + \alpha_{ld}(T_{Cld}); \quad (5)$$

$$Qa = \omega_{5.1}(Q_{5.1}) + \omega_{st}(Q_{st}); \quad (6)$$

$$Bd = Bt - G \quad (7)$$

sujeito a:

$$6 \leq T_{thd} \leq 100; \quad (8)$$

$$2 \leq T_{tsd} \leq 100; \quad (9)$$

$$0.5 \leq T_{tld} \leq 100; \quad (10)$$

$$2 \leq Q_{vhd} \leq 100; \quad (11)$$

$$0,1 \leq Q_{vsd} \leq 100; \quad (12)$$

$$0,01 \leq Q_{vld} \leq 100; \quad (13)$$

$$0,128 \leq L_{bvds12} \leq 52; \quad (14)$$

$$0,128 \leq L_{bwinmax} \leq 15; \quad (15)$$

$$0,01 \leq L_{bCDMA} \leq 2; \quad (16)$$

$$0,096 \leq Q_{Ast} \leq 0,256; \quad (17)$$

$$0,384 \leq Q_{A5.1} \leq 1; \quad (18)$$

$$\lambda_{sd}, \lambda_{hd}, \lambda_{ld}, \beta_{sd}, \beta_{hd}, \beta_{ld}, \mu_{sd}, \mu_{hd}, \mu_{ld}, \alpha_{sd}, \alpha_{hd}, \alpha_{ld}, \omega_{5.1}, \omega_{st} \in \mathbb{Z}^+ ; \quad (19)$$

$$T_t, Q_v, L_b, T_c, Q_a, > 0; \quad (20)$$

$$B_d > 0 \text{ ou } B_d < 0; \quad (21)$$

A Função Objetivo (FO) é definida pela formulação da equação (1), que depende das variáveis de decisão consideradas no modelo que são a Taxa de Transmissão (T_t), a Qualidade de Vídeo (Q_v), a Largura de Banda (L_b), o Tipo de Cliente (T_c), a Qualidade de Áudio (Q_a) e a Banda Disponível (B_d).

A Taxa de Transmissão (T_t) é dada pela equação (2) formada pelo somatório dos valores atribuídos para os diferentes formatos de vídeo (HD, SD e LD), em relação à transmissão, juntamente com seus respectivos pesos (contribuição de cada variável na FO) representados pelas letras gregas. A transmissão conta também com os vídeos intermediários (P1 e P2). Contudo, estes não serão levados em consideração na fase de testes e experimentos dos algoritmos, somente os formatos (HD, SD e LD).

A mesma lógica é seguida para as equações (3), (4) e (5), porém elas levam em consideração a qualidade de vídeo, largura de banda e número de clientes respectivamente.

A Qualidade de Áudio (Q_a) é representada pela equação (6), onde apenas os dois tipos de áudio são levados em consideração que são: áudio *Stereo* e o áudio 5.1 (áudio multicanal).

A quantidade de Banda Disponível (B_d) é representada pela equação (7) calculada a partir do Total de Banda (B_t) do servidor menos o Gasto (G) consumido pelos clientes.

Este modelo poderá ser customizado pela calibragem dos pesos, a serem definidos após a validação do algoritmo.

As inequações (8), (9) e (10), dizem respeito às restrições da Taxa de Transmissão (taxa de fluxo de bits) contidas na Tabela 7.

As inequações (11), (12) e (13), dizem respeito às restrições sobre a qualidade de vídeo contidas na Tabela 8, porém seu valor máximo foi definido igual para todos, adotando o limite de banda brasileiro.

As inequações (14), (15) e (16) representam as restrições de utilização de banda larga, conforme Tabela 10. Finalmente, as inequações (17) e (18) descrevem as restrições de áudio em seus dois formatos, conforme Tabela 9.

A restrição (19) define que os pesos listados pertencente ao conjunto dos números inteiros não negativos. A inequação (20) apresenta as restrições de não negatividade para as variáveis de decisão, pois na ausência de alguma destas variáveis a transmissão IPTV é comprometida.

A inequação (21) representa os dois conjuntos de valores admitidos para B_d , tanto negativo quanto positivo.

5.3 Modelo de Otimização IPTV (MOIPTV)

Todo o processo de desenvolvimento dos algoritmos, quanto à geração de solução inicial, geração vizinhanças, escolha das melhores soluções, quantidades de soluções que serão armazenadas referentes ao algoritmo de Busca Tabu e tipos de operadores (mutação, cruzamento e seleção) referentes ao Algoritmo Genético, será abordado a partir da seção 5.3.1. O fluxograma do algoritmo MOIPTV, é apresentado nas Figuras 14 e 15, gerado a partir das aplicações da Busca Tabu (BT) e Algoritmos Genéticos (AG), estes módulos operam de forma independente e que, apenas, compartilham os dados gerados na Solução Inicial. Maiores detalhes serão explanados nas seções a seguir.

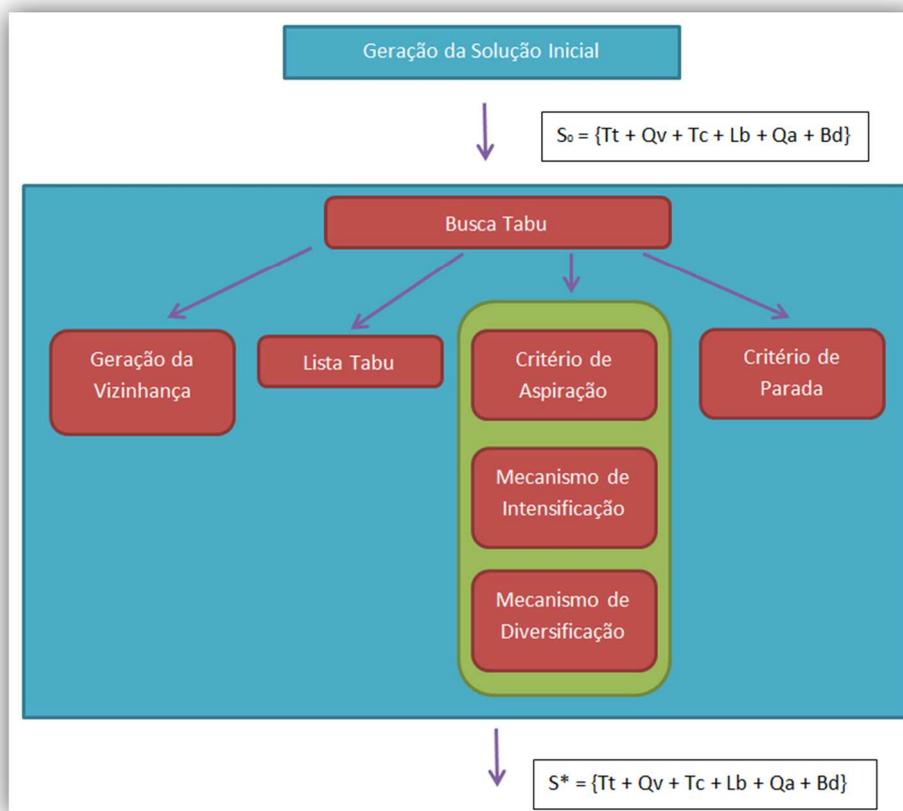
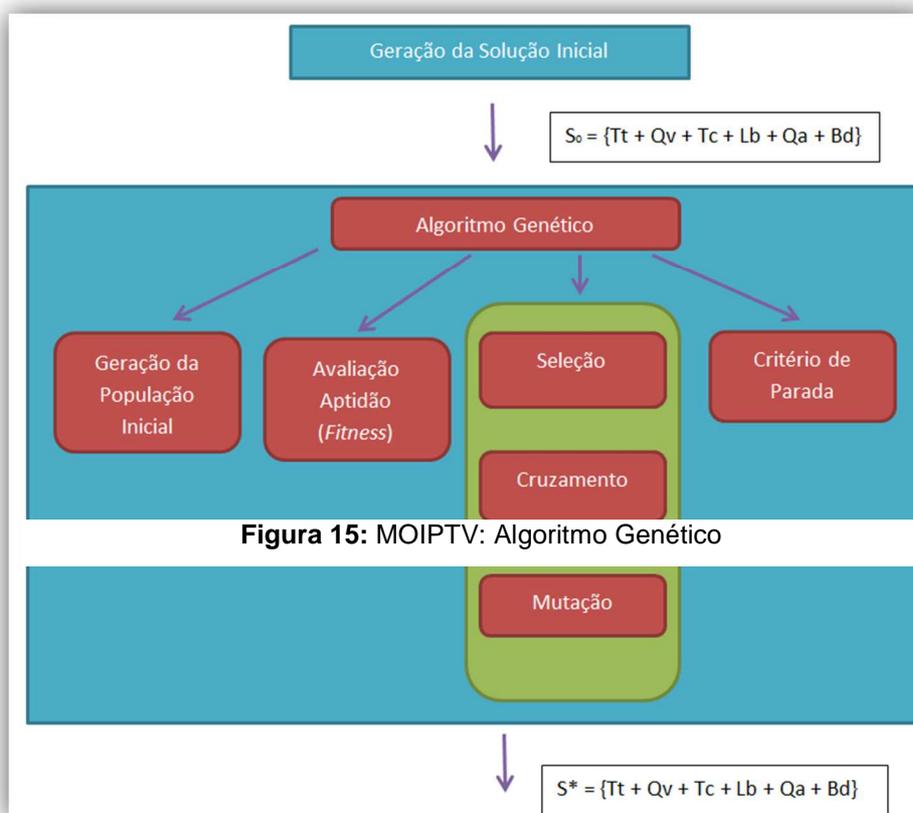


Figura 14: MOIPTV: Busca Tabu

5.3.1 Geração da Solução Inicial

A solução inicial é a mesma para os dois algoritmos, formada por números aleatórios gerados a partir dos valores das Tabelas 8, 9, 10, 11 e 12, as quais contêm os valores (intervalo) que cada variável poderá assumir ao longo do processo.

Para a geração da solução inicial, é calculada a média das variáveis de decisão, juntamente com seu desvio padrão, para que, posteriormente, seja efetuada a normalização dos pesos.

O algoritmo para a geração da solução inicial foi executado 100 vezes, a Tabela 13 mostra os resultados obtidos.

Tabela 13: Médias das Variáveis

Medias das Variáveis			
Variáveis	HD	SD	LD
Tt	55,98	51,61	48,60
Qv	45,31	53,53	55,21
Tc	11,29	16,72	33,83
Lb	14,09	8,69	1,22
Qa	0,53		
Bd	-0,48	1,45	26,53

Através das médias, obtém-se o Desvio Padrão, conforme mostra a Tabela 14. E por fim, é calculado os pesos das respectivas variáveis (Tabela 15).

Tabela 14: Desvio Padrão

Desvio Padrão (σ)			
Variáveis	HD	SD	LD
Tt	28,87	31,09	26,44
Qv	29,43	28,16	28,23
Tc	5,48	8,89	18,80
Lb	7,08	4,02	0,44
Qa	0,26		
Bd	41,45	34,91	30,25

A proporção entre os pesos foi gerada a partir da divisão do maior valor obtido das variáveis de decisão, pelas demais médias, caracterizando uma solução não-tendenciosa. A Tabela 15 mostra os valores obtidos para os pesos.

Tabela 15: Valores dos Pesos Não Tendenciosos

Valores dos Pesos (solução não-tendenciosa)			
Variáveis	HD	SD	LD
Tt	1,0	1,03	1,13
Qv	1,23	1,0	1,0
Tc	4,95	3,20	1,63
Lb	3,97	6,15	45,23
Qa	105,62		
Bd	-115,69	36,91	2,08

5.3.2 Algoritmo Busca Tabu

Nesta seção iremos detalhar os módulos (Figura14) da Busca Tabu, bem como explorar as funcionalidades de cada módulo.

5.3.2.1 Módulo de Geração de Vizinhanças

O módulo de geração de vizinhanças é formado por uma matriz de vetores que percorre as “possibilidades” dentro do espaço de busca, determinadas pelos intervalos de cada uma das variáveis de decisão, inseridos aleatoriamente, armazenando os resultados obtidos (GENDREAU; POTVIN, 2011).

O número de iterações é variável, de acordo com a necessidade do algoritmo. Inicialmente foi pré-fixado um número de 500 amostras.

Outra característica importante, sobre a geração de vizinhanças, além do movimento de inserção é a previsão do movimento “SWAP”, cujo objetivo é a “troca” de posição de certos valores, dentro de um conjunto de valores de mesma região viável. Isso acontece para verificarmos o comportamento do sistema em função da sua eficiência.

5.3.2.2 Lista Tabu

A Lista Tabu representa um vetor onde são armazenadas as soluções que serão classificadas como tabu ao longo da busca. Esse vetor possui um tamanho configurável, inicialmente foi atribuído o valor 25.

5.3.2.3 Critério de Aspiração

Esse critério é utilizado depois de uma determinada quantidade de iterações sem melhoria no valor da função objetivo. Verifica-se se a melhor solução encontrada na Lista Tabu é melhor que a solução atual e, então, efetua-se a troca da solução atual pela encontrada na Lista Tabu. O critério de aspiração somente irá perdoar caso não se encontre uma melhor solução em 100 iterações da BT.

5.3.2.4 Mecanismos de Intensificação e Diversificação

Esses mecanismos são políticas implementadas nas buscas de melhores soluções, com o objetivo de intensificar ou diversificar o processo de busca no espaço de soluções. Os mecanismos de diversificação utilizados neste trabalho ocorrem pelas variações do Nbmax e com a variação do tamanho da Lista Tabu. Os efeitos destas variações serão apresentados no Capítulo 6, na avaliação do modelo. A política de intensificação ocorre pela variação dos pesos associados às variáveis de decisão.

5.3.2.5 Critério de Parada

O critério de parada comumente utilizado na BT é um valor atribuído ao Nbmax que indica quantas vezes a busca deverá “rodar” sem que haja uma melhoria no valor da função objetivo. Neste trabalho, inicialmente, esse valor foi de 100 e teve variações, conforme testes apresentados no Capítulo 6.

5.3.3 Algoritmo Genético

Nesta seção iremos destacar todos os principais componentes do Algoritmo Genético utilizados neste trabalho, bem como explorar as funcionalidades de cada módulo. O AG apresenta seis módulos apresentados a seguir (ver Figura 15):

5.3.3.1 Geração da População Inicial

O módulo de geração de população do AG é o mesmo da BT, pois a entrada de dados não muda e a forma de geração continua a mesma, ou seja, de forma aleatória, contudo o número de população inicial é de 500 amostras.

5.3.3.2 Método de Avaliação

Cada indivíduo gerado na população inicial é avaliado e recebe um valor de aptidão para que sejam armazenados somente os 100 melhores indivíduos, o que garante o melhoramento genético das próximas gerações. Logo, o algoritmo deve ser capaz de selecionar esses indivíduos para que sejam cruzados, gerando filhos com atributos ainda melhores.

Neste procedimento o AG utiliza os 100 melhores resultados, armazenando-os em um vetor “elite” para gerar a porcentagem de uma nova amostra de filhos mais otimizados.

5.3.3.3 Operador de Seleção

Como o próprio nome sugere, o operador de seleção implica em selecionar dois indivíduos (pai e mãe) com maiores *fitness*, do vetor elite. Nesse processo é submetida uma função que ordena as soluções de elite em ordem decrescente, e depois seleciona os indivíduos com maior *fitness* para ser utilizado nas futuras gerações. Essa função avalia o grau de aptidão de um indivíduo da população, nesse caso, quanto maior o *fitness*, melhor a qualidade da solução encontrada.

5.3.3.4 Operador de Cruzamento

Esse procedimento garante o cruzamento do material genético da mãe e do pai, para geração de filhos mais otimizados. O cromossomo é representado pelo conjunto de seis parâmetros: Tt, Qv, Tc, Lb, Qa e Bd.

O módulo de cruzamento do AG, utiliza uma taxa variável. É usado o cruzamento aritmético para as variáveis de decisão, uma vez que pertencem ao conjunto dos números reais.

A Tabela 16 mostra o funcionamento do operador de *crossover* em dois cromossomos, conforme os valores extraídos das variáveis de decisão.

Neste trabalho, todo processo de operação de *crossover* é aritmético. Também foi definindo o parâmetro lambda (λ), de forma arbitrária, com o valor 0,3.

Tabela 16: *Crossover* Aritmético

Material Genético	Lambda	Variáveis de Decisão					
		Tt (HD)	Qv (HD)	Tc (HD)	Lb (HD)	Qa (HD)	Bd (HD)
Cromossomo 1		85,62	93,03	18,0	18,92	0,95	-4,37
Cromossomo 2		80,53	83,76	17,0	11,69	0,60	-4,46
λ	0,3						
Filho 1		82,05	86,54	17,3	13,86	0,70	-4,43
Filho 2		84,09	90,24	17,7	16,75	0,84	-4,39

Exemplo do Cálculo de Tt(HD):

	Tt(HD)
Filho 1	$0,3*85,62 + 0,7*80,53$
Filho 2	$0,7*85,62 + 0,3*80,53$

5.3.3.5 Operador de Mutação

No módulo de mutação do AG optou-se pela mutação uniforme, por se tratar da utilização de números reais. A taxa de mutação utilizada, neste trabalho, tem seus valores variáveis, contudo no exemplo da Tabela 17, utilizou-se uma taxa de mutação (TM) com valor de 7%.

Tabela 17: Processo de Mutação do AG

(antes)	Tt (HD)	Qv (HD)	Tc (HD)	Lb (HD)	Qa (HD)	Bd (HD)
Cromossomo 1	85,62	93,03	18,0	18,92	0,95	-4,37



Mutação (depois)	Variáveis de Decisão					
	Tt (HD)	Qv (HD)	Tc (HD)	Lb (HD)	Qa (HD)	Bd (HD)
Cromossomo 1	85,62	93,03	15,0	18,92	0,95	-4,37

A função sorteia, aleatoriamente, um dos pais para sofrer o processo de mutação. Em seguida sorteia-se um valor viável para esse cromossomo, nesse caso temos um valor aleatório escolhido dentro do seu espaço de solução.

5.3.3.6 Critério de Parada

O critério de parada do AG escolhido foi o número de gerações. Neste trabalho foi escolhido inicialmente 100 gerações, à medida que forem realizados os experimentos, este valor foi alterado.

6 TESTES E VALIDAÇÃO DO MODELO

Neste capítulo é apresentada a forma de como o modelo MOIPTV é validado, através de testes e experimentos. O processo de validação, bem como os experimentos estão divididos em 03 etapas, conforme a Tabela 18.

A validação do modelo se dará conforme o comportamento das variáveis de decisão, frente aos resultados esperados, obtidos da jiga de testes da Plataforma DIGICONV, estando os mesmos em conformidade com as normas vigentes e também através de resultados comparados na literatura.

Contudo, para uma solução mais robusta, ainda em relação aos experimentos, os pesos das variáveis foram calibrados/normalizados, através da utilização de soluções não tendenciosas, para que não seja privilegiada nenhuma das variáveis da F.O. (MARTINS, 2007).

Na BT foram realizados experimentos que mostram o comportamento do Nbmax e do tamanho da Lista Tabu, bem como a gestão multivariável, através das alterações dos valores dos pesos das variáveis de decisão, observando o comportamento do modelo, de modo a intensificar/diversificar o algoritmo e, ao mesmo tempo, buscando-se analisar o processo de exploração do espaço de soluções, além de propor situações específicas.

Já no AG foram analisados a política de elitismo e os comportamentos dos operadores das taxas de cruzamento (TC) e de mutação, além de estressar o algoritmo, começando com problemas de pequena escala, indo para média escala e finalmente larga escala.

O servidor que foi utilizado tem a seguinte configuração: Processador AMD Phenon X4 850 com 3.30Ghz, 4Gb de memória, Sistema Operacional Windows 10 Pro com 64bits da marca ITAUTEC.

Tabela 18: Etapas do Processo de Validação da BT e do AG

Etapa 1	<p style="text-align: center;"><u>Processo de teste e validação do modelo</u></p> <p>A validação do modelo ocorre pela análise dos testes submetidos a cada algoritmo (BT e AG), individualmente, através de uma comparação do comportamento das variáveis de decisão, frente aos resultados obtidos na Jiga de testes do Projeto DIGICONV como também, em alguns casos, comparados com a literatura, de acordo com as normas observadas (ITU-T, 2008).</p>
Etapa 2	<p style="text-align: center;"><u>Processos da Busca Tabu</u></p> <p>Análise da FO, mediante comportamento das variáveis de decisão, conforme variação do Nbmax e Lista Tabu.</p>
Etapa 3	<p style="text-align: center;"><u>Processos do Algoritmo Genético</u></p> <p>Análise da FO, mediante comportamento das variáveis de decisão, conforme a variação das taxas de cruzamento e mutação.</p>

6.1 Solução Tendenciosa e Não Tendenciosa

A solução tendenciosa ocorre quando os pesos são escolhidos de forma a beneficiar uma determinada variável da FO. Na solução não-tendenciosa ocorre exatamente o contrário, quando o peso associado as variáveis de decisão não influencia (privilegia) nenhuma das variáveis da FO (MARTINS, 2007).

Neste trabalho foram utilizadas as duas soluções, com intuito de explorar e obter uma maior abrangência nos resultados, buscando melhores soluções.

Na Tabela 19, inicialmente, são apresentados os resultados da solução não-tendenciosa do algoritmo BT para cada variável de entrada do modelo, seus respectivos pesos, normalizados através de 100 execuções, além das médias e desvios padrões.

Tabela 19: Características de Entrada do Modelo

100 EXECUÇÕES DO ALGORITMO BT PARA OBTER A NORMALIZAÇÃO DOS PESOS				
ENTRADA		MÉDIAS	VALORES DOS PESOS (NORMALIZADOS)	DESVIO PADRÃO
Taxa de transmissão (Tt)	λ_{hd}	50,89	1,08	27,29
	λ_{sd}	55,85	1,0	29,27
	λ_{ld}	50,61	1,09	29,27
Qualidade de vídeo (Qv)	β_{hd}	55,37	1,0	29,71
	β_{sd}	45,12	1,23	28,00
	β_{ld}	55,38	1,0	28,68
Largura de banda (Lb)	μ_{hd}	14,22	3,89	6,29
	μ_{sd}	8,46	6,60	4,23
	μ_{ld}	1,23	44,84	0,43
Tipos de clientes (Tc)	α_{Tchd}	10,52	5,26	5,10
	α_{Tcsd}	17,10	3,26	8,97
	α_{Tcld}	31,01	1,78	19,41
Qualidade de áudio (Qa)	$\omega_{5.1}$	0,53	105,37	0,25
	ω_{st}			
Banda disponível (Bd)	Bdhd	-1,73	-31,88	38,15
	Bdsd	4,53	12,30	40,61
	Bdld	30,19	1,83	32,74

A validação do modelo foi realizada com base em experimentos, onde foram analisados o comportamento das variáveis de decisão e qual a influência que uma variável exerce sobre outra, levando-se em conta os resultados obtidos no comportamento da função objetivo. Por fim, esses resultados foram comparados com a literatura para saber se estavam de acordo e com isso atestá-los.

Esse processo englobou análises das variáveis a respeito da qualidade de transmissão, levando-se em consideração todas as variáveis de entrada do modelo, a fim de se comprovar a eficiência da transmissão do sistema IPTV.

6.1.1 Etapa 1: Processo de Teste e Validação do Modelo

Neste experimento foram feitas 150 execuções completas do algoritmo BT e 150 execuções do AG, sendo que a cada trinta execuções foram calculados os valores médios atingidos pelas variáveis e uma delas teve seu peso incrementado de 10 até 150 unidades, intercaladamente, para que seu grau de contribuição na FO aumentasse a cada 30 execuções. Como o experimento foi feito para cada uma das seis variáveis de decisão que fazem parte da FO, então, ao todo, o algoritmo foi executado 900 vezes para este experimento.

O objetivo deste experimento é comprovar a influência que uma variável de decisão exerce sobre a FO e as demais variáveis quando a mesma tem um maior grau de contribuição em função do aumento de seu peso. Os valores em destaque indicam qual foi o menor e o maior valor obtido em cada variável de decisão ao final do experimento.

A Tabela 20 mostra a FO variando conforme média e o desvio-padrão das variáveis de decisão Tt, Qv, Tc, Lb, Qa e Bd. Cada linha da tabela corresponde à média de 30 execuções do MOIPTV para cada peso associado à variável Tt. As demais variáveis possuem seus pesos normalizados.

Tabela 20: Médias Obtidas à Medida que o Peso de Tt Aumenta na FO

1 – Experimentos (BT)														
Simulação	150 execuções completas													
	FO	Tt (HD+SD+LD)			Qv (HD+SD+LD)		Tc (HD+SD+LD)		Lb (HD+SD+LD)		Qa		Bd (HD+SD+LD)	
	Média	Média	σ	Peso	Média	σ	Média	σ	Média	σ	Média	σ	Média	σ
1	8172,40	3250,86	29,90	10	257,41	28,70	87,13	8,89	232,56	4,11	0,14	0,24	4466,50	40,48
2	9957,99	9229,85	28,55	30	214,48	28,57	97,54	9,05	196,00	3,93	0,64	0,25	43,32	36,91
3	90277,31	15235,92	27,94	60	137,35	26,86	131,28	9,36	150,33	3,98	0,78	0,28	74655,37	37,45
4	42355,08	29357,19	27,81	100	140,01	28,31	106,54	9,30	116,59	3,93	0,09	0,27	12609,90	34,49
5	46883,43	44718,60	27,38	150	135,19	28,07	230,73	9,48	138,08	3,89	0,61	0,25	1705,09	33,12

1 – Experimentos (AG)														
Simulação	150 execuções completas													
	FO	Tt (HD+SD+LD)			Qv (HD+SD+LD)		Tc (HD+SD+LD)		Lb (HD+SD+LD)		Qa		Bd (HD+SD+LD)	
	Média	Média	σ	Peso	Média	σ	Média	σ	Média	σ	Média	σ	Média	σ
1	21869,31	3217,88	26,56	10	215,07	29,70	50,23	5,77	91,93	7,16	0,93	0,27	5989,33	41,44
2	11259,83	9181,56	28,63	30	244,89	29,81	59,44	5,75	101,65	6,68	0,43	0,25	47,35	42,10
3	20640,34	17779,99	28,43	60	156,22	30,26	110,31	5,34	135,24	6,41	0,73	0,29	2277,66	39,94
4	30177,40	29590,87	25,24	100	79,99	27,46	233,77	5,74	225,27	7,02	0,12	0,25	1800,57	38,87
5	50666,32	44346,13	24,63	150	65,30	27,89	201,80	5,04	124,05	7,53	0,34	0,25	18284,04	37,00

Por exemplo, na simulação 1, podemos ver que Tt possui peso igual a 10. Para este caso, o algoritmo foi executado 30 vezes, a fim de obter as 30 melhores FOs e, a partir disso, calcular uma média da FO e de suas variáveis de decisão.

Observa-se ainda que conforme a taxa de transmissão(Tt) aumenta a qualidade de vídeo(Qv) diminui, isso acontece porque o modelo mantém a QoS, que de acordo com Cruz (2009), quanto maior a qualidade de vídeo menos taxa de transmissão terá e conseqüentemente menos clientes também, devido às altas taxas de consumo de rede exigidas para conteúdo de alta qualidade.

Já Koumaras, Kourtis e Martakos (2005) afirmam que a melhora da qualidade de vídeo não é significativa para *bit rates* mais altos que um limite específico, pois a variação do nível de qualidade em relação ao *bit rate* é uma função não linear crescente com inclinação de acordo com a dinâmica do vídeo.

Entretanto, de acordo com (YASAKETHU, 2008) o aumento do *bit rate* gera um aumento na FO, pois quanto maior a FO maior será a qualidade do vídeo, desde que esteja sujeito à codificação pelo CODEC H.264.

Em relação a FO, no experimento da BT ela atinge seu máximo na simulação 3, enquanto que no AG ela atinge seu máximo na simulação 5. Isso se explica pelo fato de que há uma quantidade enorme de banda disponível (Bd), o que significa que todos os clientes foram atendidos com uma pequena fração da banda total (Bt).

O mesmo procedimento de análise é feito em todas as variáveis de decisão a seguir, conforme seu grau de contribuição aumenta, analisaremos o comportamento da FO e suas variáveis adjacentes.

A Tabela 21 mostra os valores com resultados correspondentes a FO e de suas variáveis de decisão quando Qv tem um maior grau de contribuição na FO.

Essa tabela segue os mesmos moldes da Tabela 20, com a diferença de que neste caso o peso de Qv está sendo incrementado e as demais variáveis possuem seus pesos normalizados.

Tabela 21: Médias Obtidas à Medida que o Peso de Qv Aumenta na FO

2 – Experimentos (BT)														
Simulação	150 execuções completas													
	FO	Tt (HD+SD+LD)		Qv (HD+SD+LD)			Tc (HD+SD+LD)		Lb (HD+SD+LD)		Qa		Bd (HD+SD+LD)	
	Média	Média	σ	Média	σ	Peso	Média	σ	Média	σ	Média	σ	Média	σ
1	5858,43	256,58	26,49	3139,38	26,96	10	205,66	5,56	170,47	6,73	0,77	0,26	-198,05	40,58
2	14010,04	230,00	27,60	9167,09	30,00	30	128,48	5,34	127,85	6,72	0,96	0,26	563,95	38,49
3	20288,51	223,61	27,19	18270,85	30,11	60	114,16	5,46	144,78	6,87	0,52	0,26	1549,93	37,54
4	30447,89	208,00	27,27	30012,77	27,32	100	94,36	5,27	101,94	6,30	0,45	0,25	2298,59	39,66
5	45424,13	132,34	25,88	44464,91	26,21	150	111,99	5,25	134,22	7,42	0,20	0,25	4372,13	36,03

2 – Experimentos (AG)														
Simulação	150 execuções completas													
	FO	Tt (HD+SD+LD)		Qv (HD+SD+LD)			Tc (HD+SD+LD)		Lb (HD+SD+LD)		Qa		Bd (HD+SD+LD)	
	Média	Média	σ	Média	σ	Peso	Média	σ	Média	σ	Média	σ	Média	σ
1	6112,14	249,07	29,43	3256,44	28,19	10	116,55	5,01	224,52	7,17	0,73	0,25	348,56	41,38
2	12082,04	286,04	25,41	8865,31	29,06	30	128,16	5,31	186,22	7,03	0,51	0,27	2615,78	35,15
3	30063,60	220,96	26,34	18012,85	27,62	60	99,55	5,15	160,32	7,07	0,58	0,23	2265,98	33,06
4	31131,69	204,41	26,30	30260,72	29,51	100	112,24	5,76	113,62	6,89	0,45	0,24	5875,69	40,21
5	46111,39	180,29	25,46	43655,18	29,18	150	54,14	5,50	213,66	6,84	0,12	0,24	11591,19	35,51

FO. Portanto Qv e FO são diretamente proporcionais.

Como foi visto na Tabela 20, a relação de Q_v e T_t é praticamente inversa, pois o modelo tende a compensar essas variáveis, já que quanto maior for a qualidade de vídeo maior será a taxa de transmissão a um cliente, inviabilizando o sistema e tornando impossível se chegar a valores muito altos. Por esse motivo o modelo desenvolvido neste trabalho tenta compensar de forma satisfatória esse aumento expressivo, diminuindo a T_t .

A variável T_c em relação a Q_v tem seus valores diminuindo, conforme o valor de Q_v aumenta. Isso acontece porque quanto maior a qualidade de um vídeo maior será a quantidade de quadros para comprimi-lo (KOUMARAS; KOURTIS; MARTAKOS, 2005), exigindo maior taxa de transmissão e conseqüentemente maior capacidade de banda para exibi-lo, o que torna, por sua vez, sua exibição difícil e, por esse motivo, diminui a quantidade de clientes disponíveis para assisti-lo.

A mesma análise acontece para as variáveis L_b e Q_a . Esse fato se justifica, pois quanto maior o valor de Q_v maior será a demanda de recursos para transmiti-lo, e o modelo não suporta quantidades de vídeos superior ao formato HD, ao qual originalmente foi projetado.

A próxima análise, será da Tabela 22 que mostra a variável T_c aumentando seus valores, conforme o acréscimo de seu peso. Esse processo, diferente dos anteriores, influencia inversamente na variável FO , uma vez que quanto maior a soma das suas variáveis menor será seu grau de influência em relação a FO . Portanto, T_c e FO tem comportamentos inversos.

Nesse experimento com a variável T_c não teve grandes influências sobre as variáveis TT e Q_v . Entretanto, com relação a variável B_d o resultado foi surpreendente. Observa-se que quanto mais clientes houver no sistema será mais propício se ter uma sobrecarga (simulações 4 e 5 da BT e do AG). Este fato acarreta falta de banda disponível, comprometendo a eficiência de atendimento aos clientes (E_f) que será abordada nas seções 6.1.2 e 6.1.3.

Isso significa que quanto maior a variação do tipo de clientes no sistema melhor será a distribuição deles dentro do modelo, ou seja, o MOIPTV distribui de forma aleatória os tipos de clientes (HD, SD e LD) de forma que todos possam receber a transmissão sem que haja perda de sinal, garantindo uma E_f máxima ou 100%.

Nota-se que para que ocorra a transmissão todas as variáveis de decisão com exceção de B_d precisam ser maior que zero.

Tabela 22: Médias Obtidas à Medida que o Peso de Tc Aumenta na FO

3 – Experimentos (BT)														
Simulação	150 execuções completas													
	FO	Tt (HD+SD+LD)		Qv (HD+SD+LD)		Tc (HD+SD+LD)			Lb (HD+SD+LD)		Qa		Bd (HD+SD+LD)	
	Média	Média	σ	Média	σ	Média	σ	Peso	Média	σ	Média	σ	Média	σ
1	2332,71	286,21	26,97	272,20	27,62	1345,98	5,80	10	204,56	7,07	0,48	0,26	223,26	38,87
2	4728,46	290,37	28,52	195,16	28,86	3175,05	5,81	30	161,61	6,93	0,61	0,25	1001,04	42,88
3	19309,15	302,91	28,10	99,75	28,29	6492,27	5,23	60	183,15	6,74	0,30	0,25	10259,42	36,19
4	1644,59	301,83	27,73	179,22	29,63	8376,95	5,49	100	191,15	7,13	0,55	0,26	-1087,46	36,60
5	261,27	292,16	27,61	102,54	27,96	16276,58	5,71	150	195,43	6,85	0,69	0,25	-7577,18	40,72

3 – Experimentos (AG)														
Simulação	150 execuções completas													
	FO	Tt (HD+SD+LD)		Qv (HD+SD+LD)		Tc (HD+SD+LD)			Lb (HD+SD+LD)		Qa		Bd (HD+SD+LD)	
	Média	Média	σ	Média	σ	Média	σ	Peso	Média	σ	Média	σ	Média	σ
1	5055,90	286,08	25,53	272,60	28,36	723,15	5,48	10	190,62	6,97	0,65	0,25	3582,78	38,29
2	18187,33	293,04	27,79	174,68	25,87	3709,19	5,66	30	202,62	7,07	0,81	0,25	7305,70	38,39
3	12173,05	292,13	27,61	122,78	28,07	4308,65	5,29	60	91,10	7,48	0,78	0,26	5692,65	40,32
4	2184,68	312,24	26,87	149,04	28,42	9994,98	5,47	100	138,40	7,11	0,13	0,25	-1201,93	34,48
5	425,97	294,88	25,59	49,49	29,07	17390,81	5,19	150	176,14	6,76	0,77	0,26	-5170,80	34,91

Contudo, após a simulação 3 na BT e a 2 no AG, com o acréscimo no peso em que variável, gerou um aumento demasiado de clientes no sistema, causando, assim, um estouro que levou a sobrecarga do modelo, fazendo com que sua eficiência diminuísse bruscamente, comprometendo o desempenho do sistema.

A próxima análise será da Tabela 23, que mostra a variável Lb aumentando conforme o acréscimo de seu peso. Esse processo também influencia diretamente na variável FO, pois estão diretamente ligados. Portanto Lb e FO são diretamente proporcionais.

Tabela 23: Médias Obtidas à Medida que o Peso de Lb Aumenta na FO

4 – Experimentos (BT)														
Simulação	150 execuções completas													
	FO	Tt (HD+SD+LD)		Qv (HD+SD+LD)		Tc (HD+SD+LD)		Lb (HD+SD+LD)			Qa		Bd (HD+SD+LD)	
	Média	Média	σ	Média	σ	Média	σ	Média	σ	Peso	Média	σ	Média	σ
1	6514,44	268,40	26,49	253,32	27,53	194,94	5,72	617,62	7,18	10	0,47	0,25	419,29	37,94
2	3469,84	289,51	26,21	233,74	26,44	143,34	5,30	1505,47	6,91	30	0,45	0,27	1398,83	37,98
3	3588,86	260,68	25,87	237,91	27,50	126,00	5,77	2536,20	6,82	60	0,54	0,26	1235,65	39,00
4	5573,33	199,95	27,53	66,57	29,10	41,84	5,59	4350,87	6,73	100	0,30	0,26	751,55	39,43
5	10677,64	275,61	29,34	199,94	29,04	51,63	5,05	6375,35	7,35	150	0,69	0,26	5248,61	37,63

4 – Experimentos (AG)														
Simulação	150 execuções completas													
	FO	Tt (HD+SD+LD)		Qv (HD+SD+LD)		Tc (HD+SD+LD)		Lb (HD+SD+LD)			Qa		Bd (HD+SD+LD)	
	Média	Média	σ	Média	σ	Média	σ	Média	σ	Peso	Média	σ	Média	σ
1	3414,36	221,56	25,19	225,41	29,22	246,10	4,99	653,86	6,23	10	0,20	0,26	1969,03	38,36
2	4041,09	225,66	27,70	193,76	28,96	121,88	5,34	1413,87	6,53	30	0,69	0,26	2011,81	39,19
3	5886,79	261,37	26,15	197,93	27,26	110,88	5,60	2701,24	6,09	60	0,54	0,26	2744,87	36,21
4	6864,24	299,06	26,86	193,82	29,98	76,51	5,88	4398,61	6,90	100	0,59	0,25	2027,40	37,35
5	11900,85	291,52	26,70	88,26	26,62	20,62	5,26	6414,09	6,72	150	0,23	0,26	4995,84	35,26

Através desse experimento é possível notar que a variável Lb não possui grandes influências sob as demais variáveis do modelo, exceto na variável Tc. À medida que Lb aumenta há um leve decréscimo na variação do tipo de clientes, contribuindo, dessa forma, para um menor desempenho do modelo quando Lb aumenta.

Esse fato se justifica, pois quando um cliente possui uma largura de banda superior à que ele está acostumado, ele tende a consumir uma demanda de vídeo de melhor qualidade, optando apenas pelos vídeos em HD (de melhor qualidade), tornando a demanda de vídeos em SD e LD ociosas e assim, forçando o sistema a comprometer apenas um dos três formatos de vídeos disponíveis (HD, SD e LD), diminuindo, dessa forma, a eficiência.

A próxima análise será da Tabela 24, que mostra a variável Qa aumentando, conforme o acréscimo de seu peso. Esse processo gera um acréscimo na variável FO, porém com pouca intensidade, uma vez que esta variável possui valores equivalentemente baixo em relação às demais variáveis.

A variável Qa assume um grau de importância dentro do *streaming* de vídeo, (BEERENDS; CALUWE, 1999) já que é a responsável por relacionar os ruídos (fala,

música, sons ambientes, etc.) às imagens do vídeo. Contudo, a Qa não tem grandes influências sobre as demais variáveis de decisão, exceto pela taxa de transmissão. Isso se justifica, pois quanto maior a qualidade de áudio maior será a taxa de transmissão necessária para entregá-lo ao destino (cliente), sendo necessária maior largura de banda por parte do cliente.

Tabela 24: Médias Obtidas à Medida que o Peso de Qa Aumenta na FO

5 – Experimentos (BT)														
Simulação	150 execuções completas													
	FO	Tt (HD+SD+LD)		Qv (HD+SD+LD)		Tc (HD+SD+LD)		Lb (HD+SD+LD)		Qa			Bd (HD+SD+LD)	
	Média	Média	σ	Peso	Média	σ								
1	1322,45	245,56	26,82	243,08	27,49	241,30	5,59	148,92	6,81	9,56	0,26	10	418,37	35,97
2	2587,65	261,19	25,20	151,48	28,83	131,07	5,43	170,12	6,88	22,35	0,27	30	1021,65	37,99
3	4178,46	286,35	26,67	157,70	27,08	153,44	5,82	184,22	6,78	40,47	0,26	60	3346,09	38,35
4	6788,49	290,80	28,30	265,36	28,27	142,56	5,38	206,63	6,90	38,17	0,26	100	4844,94	40,23
5	7232,48	310,51	27,75	109,78	26,10	178,87	5,74	201,36	7,43	136,25	0,26	150	7395,87	40,67

5 – Experimentos (AG)														
Simulação	150 execuções completas													
	FO	Tt (HD+SD+LD)		Qv (HD+SD+LD)		Tc (HD+SD+LD)		Lb (HD+SD+LD)		Qa			Bd (HD+SD+LD)	
	Média	Média	σ	Peso	Média	σ								
1	1157,39	191,32	27,34	237,86	26,46	252,37	5,34	159,35	6,46	5,64	0,24	10	181,48	43,59
2	2134,40	255,13	27,85	269,11	27,79	90,41	6,09	189,94	6,84	28,67	0,28	30	1229,96	46,65
3	3999,43	274,03	27,45	250,83	27,87	102,37	5,41	169,58	6,60	32,31	0,27	60	2145,68	42,40
4	5176,02	279,42	26,34	175,40	29,69	155,96	5,47	224,90	7,13	13,20	0,27	100	4325,72	39,23
5	7802,66	303,21	28,02	242,59	26,86	126,84	5,47	226,29	6,82	127,24	0,23	150	6954,56	37,18

Conforme a qualidade de áudio aumenta, a Ef tende a diminuir, pois será necessário maior Lb e Tt para transportá-lo ao cliente.

A última análise, da Tabela 25, mostra a variável Bd aumentando conforme o acréscimo de seu peso. Esse processo gera um acréscimo na variável FO, uma vez que as variáveis possuem comportamento idêntico, pois estão relacionadas ao desempenho do sistema como um todo.

Isso significa que quanto maior o valor da a FO maior será a quantidade de banda disponível do sistema, e, caso não haja banda suficiente para atender a todos os clientes, a Bd se torna negativa e conseqüentemente caem drasticamente os valores atribuídos a FO.

Tabela 25: Médias Obtidas à Medida que o Peso de Bd Aumenta na FO

6 – Experimentos (BT)														
Simulação	150 execuções completas													
	FO	Tt (HD+SD+LD)		Qv (HD+SD+LD)		Tc (HD+SD+LD)		Lb (HD+SD+LD)		Qa		Bd (HD+SD+LD)		
	Média	Média	σ	Média	σ	Média	σ	Média	σ	Média	σ	Média	σ	Peso
1	5662,58	279,87	24,39	146,88	28,88	41,95	5,21	110,45	6,99	0,91	0,25	4994,03	33,32	10
2	12615,52	279,45	26,80	169,37	29,59	71,16	5,44	148,04	6,42	0,62	0,27	11946,85	38,05	30
3	25915,93	277,02	25,70	190,65	28,67	30,42	5,78	98,67	6,69	0,46	0,28	25362,45	37,94	60
4	36028,85	273,22	30,41	273,22	29,58	34,18	5,31	102,47	6,86	0,37	0,26	35378,89	40,60	100
5	48421,21	208,12	26,54	267,18	29,11	10,24	5,66	95,62	6,66	0,11	0,26	47939,92	35,64	150

6 – Experimentos (AG)														
Simulação	150 execuções completas													
	FO	Tt (HD+SD+LD)		Qv (HD+SD+LD)		Tc (HD+SD+LD)		Lb (HD+SD+LD)		Qa		Bd (HD+SD+LD)		
	Média	Média	σ	Média	σ	Média	σ	Média	σ	Média	σ	Média	σ	Peso
1	3964,85	209,37	29,73	193,01	29,73	105,91	5,58	269,92	6,92	0,40	0,23	3158,94	42,92	10
2	8615,88	235,06	28,07	189,65	28,48	102,64	5,03	173,10	6,94	0,15	0,24	7960,57	36,60	30
3	16665,75	249,37	24,97	171,04	27,49	3,38	5,42	148,23	7,27	0,18	0,25	16133,52	37,85	60
4	24851,24	263,12	27,11	150,41	27,78	37,67	5,49	140,74	7,13	0,75	0,26	24278,52	39,35	100
5	47586,37	285,52	25,88	144,34	29,27	89,45	5,48	115,56	6,89	0,87	0,24	46929,40	40,97	150

Em resumo, os experimentos mostrados neste capítulo não só comprovaram que as variáveis de decisão do modelo proposto se comportam de acordo com a saída de dados obtidos da jiga de testes do Projeto DIGICONV mas também com as normas e experimentos encontrados na literatura. O modelo proposto procura maximizar a FO para chegar a um equilíbrio entre as variáveis de decisão, de modo que haja melhor parametrização das variáveis para obtenção de melhores resultados.

6.1.2 Etapa 2: Experimentos Envolvendo a Busca Tabu

Esta segunda etapa de experimentos tem como objetivo estudar a influência do Nbmax e do tamanho da Lista Tabu, através da combinação de valores distintos, permitindo uma análise mais abrangente do comportamento da FO.

A Tabela 26 mostra os valores propostos para o tamanho da Lista Tabu(LT) e a Tabela 27 mostra os valores definidos para o tamanho do Nbmax.

Tabela 26: Relação de Valores Atribuídos a Lista Tabu

TAMANHO DA LISTA TABU

25
50
75
100
200

Tabela 27: Relação de Valores Atribuídos ao Nbmax

TAMANHO DO NBMAX
50
100
200
750
2000

Os valores apresentados nas Tabelas 26 e 27 serão combinados entre si, gerando um total de 25 conjuntos de parametrizações para o problema estudado.

O número de clientes será distribuído conforme Tabela 28, para efeito de estudo de comportamento do sistema MOIPTV. Contudo, após uma quantidade limite de quatro experimentos, essa quantidade de clientes irá ser limitada em no máximo 119 clientes, a partir do quinto experimento. Esse valor é o total de clientes (TotCli) que o sistema MOIPTV é capaz de suportar, dada a quantidade máxima de Tt configurada. A capacidade total de clientes é dada através da seguinte equação (29):

$$\text{TotCli} = (100/5)\text{HD} + (100/3)\text{SD} + (100/1.5)\text{LD} \quad (29);$$

Onde a capacidade máxima de clientes:

- HD = 20;
- SD = 33;
- LD = 66;

TotCli = 119 clientes.

Tabela 28: Número de Clientes para os Experimentos da BT

NÚMERO DE CLIENTES INICIAIS

Experimentos	NCli
1º	50
2º	75
3º	100
4º	125
A partir do 5º	≤ 119

A tabela apresentada com os resultados segue o padrão da Tabela 29, na qual a primeira linha designa o número de clientes por tipo e qual algoritmo está sendo utilizado BT ou AG. A segunda linha adota os valores da LT e Nbmax, seguido pelos formatos de vídeos HD, SD e LD. As colunas identificam os valores das variáveis de decisão que estão sendo analisados em cada experimento. Os resultados exibidos são o valor médio de 100 execuções, obtidos para a função objetivo (FO) e o desvio padrão (σ) em torno dessa média, com base nos parâmetros mostrados.

Tabela 29: Modelo Padrão de Resultados do Módulo da Busca Tabu

Nº CLIENTES: LISTA TABU = NBMAX =	IDENTIFICAÇÃO		
	HD	SD	LD
Tt			
Qv			
Tc			
Lb			
Qa			
Bd			
FO			
σ			
Ef			

Além da análise, utilizamos a tabela acima para traçar comparativos entre as soluções obtidas, avaliando os benefícios e peculiaridades mostrados através de gráficos ao final dos 25 experimentos.

O primeiro experimento é realizado com Lista Tabu igual a 25, Nbmax igual a 50 clientes, conforme especificado anteriormente nas Tabelas 26, 27 e 28.

A Tabela 30 mostra o resultado deste experimento, as células mostram os valores médios obtidos para a FO e seus respectivos desvios padrões. Os valores destacados na tabela mostram os melhores resultados obtidos, considerando todos os conjuntos de parâmetros.

Tabela 30: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=25 e Nbmax=50

Nº CLIENTES: 50 LISTA TABU = 25; NBMAX = 50;	RESULTADO DO EXPERIMENTO COM A BT		
	HD	SD	LD
Tt	98,03	91,08	98,39
Qv	64,57	88,19	48,02
Tc	19	25	6
Lb	22,38	12,35	1,75
Qa		0,68	
Bd	3,03	16,08	89,39
FO		1.395,89	
σ		46,28	
Ef	100%	100%	100%

Através deste experimento observa-se que o melhor valor de Tt foi obtido no parâmetro LD. Todavia, por haver apenas 6 clientes consumindo o serviço em LD, a “sobra” de banda, ou melhor, a banda disponível (Bd) chegou a quase 90Mb.

Já para os outros formatos de vídeo (HD e SD) houve uma demanda razoável de clientes, causando uma diminuição da Bd que é responsável pela eficiência de atendimento ao cliente (Ef). A Ef é calculada a partir de Bd, ou seja, se Bd assumir um valor positivo, a Ef será sempre garantida a todos os clientes, com total de 100%, por outro lado, se Bd assumir um valor negativo, a Ef será garantida parcialmente aos clientes, devido a sobrecarga de demanda, assumindo um valor inferior a 100%.

Nesse experimento, todos os clientes foram atendidos, portanto, a Ef para os três parâmetros foi de 100%.

O número de clientes tem uma relevância fundamental neste experimento, pois se houver uma demanda grande, haverá sobrecarga e conseqüentemente baixo valor de Ef. Caso contrário, a Ef é garantida a todos os clientes com valor 100%. O valor da FO para este experimento foi de 1.395,89.

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: LT igual a 25, Nbmax igual a 100 e 75 clientes, conforme as Tabelas 26, 27 e 28.

A Tabela 31 mostra o resultado desse experimento. As células mostram os valores médios obtidos para a FO e seus respectivos desvios padrões. Os valores destacados na tabela seguem os mesmos moldes do experimento anterior.

Tabela 31: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=25 e Nbmax=100

Nº CLIENTES: 75 LISTA TABU = 25; NBMAX = 100;	RESULTADO DO EXPERIMENTO COM A BT		
	HD	SD	LD
Tt	95,33	68,46	99,64
Qv	81,79	97,13	89,57
Tc	18	14	43
Lb	23,99	8,62	1,89
Qa		0,84	
Bd	5,33	26,46	35,14
FO		1.328,86	
σ		44,89	
Ef	100%	100%	100%

No experimento ilustrado na Tabela 31, observa-se que a coluna HD obteve o menor valor para Bd devido à quantidade de clientes HD atingir quase o limite de consumo da taxa de transmissão oferecida pelo sistema. Observando-se que cada cliente HD consome uma taxa de transmissão mínima de 5Mbps, a coluna SD obteve melhor qualidade de vídeo. Contudo, a quantidade de clientes não foi suficiente para consumir o total de taxa de transmissão oferecida pelo sistema. Já a coluna LD obteve os melhores valores para Tt e Tc. Porém, mesmo que a quantidade de clientes em LD seja relativamente maior que nas demais colunas, também não foi suficiente para causar uma sobrecarga, fazendo com que a Ef diminuísse em nenhum dos casos. O valor da FO para esse experimento foi de 1.328,86.

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: LT igual a 25, Nbmax igual a 200 e 100 clientes conforme as Tabelas 26, 27 e 28.

A Tabela 32, a seguir, mostra o resultado deste experimento. As células mostram os valores médios obtidos para a FO e seus respectivos desvios padrões. Os valores destacados na tabela seguem os mesmos moldes do experimento anterior.

Neste experimento, observa-se um fato novo, quando há sobrecarga do sistema. A coluna HD obteve uma demanda superior ao que ela poderia suportar, ou seja, o número de clientes HD foi 20 sendo que a taxa de transmissão necessária para suportar essa quantidade de clientes deveria ser de 100Mbps.

Portanto não houve banda suficiente para transmitir toda essa demanda de clientes, correspondente a 3,1% negativos. Esse valor foi responsável por tornar a Ef de HD em apenas 95%, pois apenas 19 clientes foram atendidos nessa transmissão.

A coluna SD obteve melhor qualidade de vídeo. Contudo, a quantidade de clientes foi razoável, ocasionando uma quantidade de 9,6Mb Bd, que é relativamente pequena. Já na coluna de LD essa quantidade foi ainda menor, chegando a 2,15Mb.

A FO para este experimento foi de 1.227,27.

Tabela 32: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=25 e Nbmax=200

Nº CLIENTES: 100	RESULTADO DO EXPERIMENTO COM A BT		
LISTA TABU = 25; NBMAX = 200;	HD	SD	LD
Tt	96,90	93,60	80,15
Qv	92,09	94,02	88,93
Tc	20	28	52
Lb	17,89	13,11	1,96
Qa		0,40	
Bd	-3,1	9,6	2,15
FO		1.227,27	
σ		45,09	
Ef	95,00%	100%	100%

O experimento a seguir, possui as seguintes configurações: LT igual a 25, Nbmax igual a 750 e 125 clientes, conforme as Tabelas 26, 27 e 28.

A Tabela 33, a seguir, mostra o resultado deste experimento; as células mostram os valores médios obtidos para a FO e seus respectivos desvios padrões. Os valores destacados na tabela seguem os mesmos moldes do experimento anterior.

No experimento da Tabela 33, observa-se novamente a sobrecarga, agora em duas colunas (HD e LD). Isso ocorre quando a demanda é maior que a taxa de transmissão disponível. O MOIPTV está preparado para prever quando isso acontece, porém, para corrigir esse “problema”, é necessário informar a quantidade de clientes total que o sistema é capaz de suportar, ou senão, podemos aumentar a capacidade de taxa de transmissão atual (máximo de 100Mbps) no qual o sistema poderá fornecer para seus clientes finais.

Devido ao aumento da sobrecarga a eficiência de atendimento ao cliente (Ef) tende a diminuir drasticamente, tornando-se o sistema praticamente ineficiente, atingindo valores de Ef cada vez menor a cada execução. Nesse caso, a Ef obtida pela falta de Bd em HD foi de 77,27% e em LD foi de 91,66%. O valor da FO para esse experimento foi de 1.155,46.

Tabela 33: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=25 e Nbmax=750

Nº CLIENTES: 125	RESULTADO DO EXPERIMENTO COM A BT		
LISTA TABU = 25; NBMAX = 750;	HD	SD	LD
Tt	85,99	98,04	99,83
Qv	90,35	95,78	96,72
Tc	22	31	72
Lb	17,08	12,51	1,91
Qa		0,66	
Bd	-24,01	5,04	-8,17
FO		1.155,46	
σ		72,41	
Ef	77,27%	100%	91,66%

O experimento a seguir, possui as seguintes configurações: LT igual a 25 e Nbmax igual a 2000, conforme as Tabelas 26 e 27. A partir desse experimento o número de clientes passa a ser variável, podendo chegar no máximo a 119.

A Tabela 34 mostra o resultado desse experimento. As células mostram os valores médios obtidos para a FO e seus respectivos desvios padrões. Os valores destacados na tabela seguem os mesmos moldes do experimento anterior.

Nesse experimento da Tabela 34, observa-se uma melhora significativa em relação ao desempenho do sistema, pois houve 103 clientes distribuídos conforme suas demandas de vídeo, a melhor coluna foi a LD onde houveram as maiores taxas de transmissão, qualidade de vídeo e número de clientes LD, apesar desses clientes possuírem apenas 1,37Mbps de largura de banda, o sistema conseguiu atender a todas as demandas com eficiência de 100%. O valor da FO para este experimento foi de 1.292,41.

Tabela 34: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=25 e Nbmax=2000

Nº CLIENTES: ≤ 119	RESULTADO DO EXPERIMENTO COM A BT		
LISTA TABU = 25; NBMAX = 2000;	HD	SD	LD
Tt	93,53	78,08	99,42
Qv	81,10	93,89	98,28
Tc	17	24	62
Lb	19,78	10,90	1,37
Qa		0,79	
Bd	8,53	6,08	6,42
FO		1.292,41	

σ		41,87	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir, possui as seguintes configurações: LT igual a 50 e Nbmax igual a 50, conforme as Tabelas 26 e 27.

A Tabela 35 mostra o resultado desse experimento. As células mostram os valores médios obtidos para a FO e seus respectivos desvios padrões, sem a aplicação da política de intensificação. Os valores destacados na tabela seguem os mesmos moldes do experimento anterior.

Nesse experimento, observa-se que se manteve a Ef em 100%. Contudo, houve uma baixa na qualidade de vídeo (Qv) em quase 50%. Isso se ajusta, uma vez que o sistema de Busca Tabu do MOIPTV procura melhores soluções dentre os espaços de busca existente, tornando-o eficaz na combinação de parâmetros como um todo, comprovando o resultado do experimento próximo ao real. Nesse experimento é possível notar que mesmo com a Tt_{HD} em 90,89Mbps e a Qv_{HD} 50,24Mb é possível conectar 16 clientes HD a uma Lb média de 24,07Mbps, produzindo uma sobra de banda de 10,89Mb do canal, proporcionando uma QoE rica em recursos computacionais por parte do usuário. O valor da FO para este experimento foi de 1.286,66.

Tabela 35: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=50 e Nbmax=50

Nº CLIENTES: ≤ 119 LISTA TABU = 50; NBMAX = 50;	RESULTADO DO EXPERIMENTO COM A BT		
	HD	SD	LD
Tt	90,89	86,00	90,90
Qv	50,24	49,16	56,95
Tc	16	26	59
Lb	24,07	13,20	1,90
Qa		0,87	
Bd	10,89	8,00	2,4
FO		1.286,66	
σ		64,62	

Tabela 37: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=50 e Nbmax=200

Nº CLIENTES: ≤ 119 LISTA TABU = 50; NBMAX = 200;	RESULTADO DO EXPERIMENTO COM A BT		
	HD	SD	LD
Tt	82,67	89,04	73,74
Qv	79,74	86,80	98,30
Tc	10	30	49
Lb	20,66	11,57	1,85
Qa		0,93	
Bd	32,67	-0,96	0,24
FO		1.226,56	
σ		34,10	
Ef	100%	96,66%	100%

O experimento a seguir, possui as seguintes configurações: LT igual a 50 e Nbmax igual a 750, conforme as Tabelas 26 e 27.

A Tabela 38 mostra o resultado deste experimento. As células mostram os valores médios obtidos para a FO e seus respectivos desvios padrões. Os valores destacados na tabela seguem os mesmos moldes do experimento anterior.

Neste experimento, o sistema possui apenas 85 clientes, portanto, o valor da Ef manteve-se no máximo, atendendo a toda demanda de clientes. A BT com o valor de Nbmax igual a 750 forçou a BT a passar mais tempo procurando por melhores soluções, proporcionando um resultado satisfatório e otimizado. O valor da FO para este experimento foi de 1.327,85.

Tabela 38: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=50 e Nbmax=750

Nº CLIENTES: ≤ 119 LISTA TABU = 50; NBMAX = 750;	RESULTADO DA FO SEM A APLICAÇÃO DA POLÍTICA DE INTENSIFICAÇÃO		
	HD	SD	LD
Tt	97,00	90,00	98,65
Qv	98,60	43,67	66,58
Tc	18	25	52
Lb	24,68	14,39	1,79
Qa		0,87	
Bd	7,00	15,00	20,65
FO		1.327,85	
σ		29,16	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: LT igual a 50 e Nbmax igual a 2000, conforme as Tabelas 26 e 27.

A Tabela 39 mostra o resultado deste experimento. As células mostram os valores médios obtidos para a FO e seus respectivos desvios padrões. Os valores destacados na tabela seguem os mesmos moldes do experimento anterior.

Neste experimento, o sistema possui 105 clientes, a Ef manteve-se no máximo. Houve Bd suficiente em HD e SD, contudo em LD a Bd chegou a 1,28Mb, ou seja, se tivéssemos obtido mais um cliente, haveria uma sobrecarga. As demais variáveis se mantiveram estáveis. O valor da FO para este experimento foi de 1.325,92.

Tabela 39: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=50 e Nbmax=2000

Nº CLIENTES: ≤ 119 LISTA TABU = 50; NBMAX = 2000;	RESULTADO DO EXPERIMENTO COM A BT		
	HD	SD	LD
Tt	93,77	94,50	98,78
Qv	93,35	86,41	84,90
Tc	14	26	65
Lb	18,07	12,80	1,80
Qa		0,96	
Bd	23,77	16,5	1,28
FO		1.325,92	
σ		30,17	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir, possui as seguintes configurações: LT igual a 75 e Nbmax igual a 50, conforme as Tabelas 26 e 27.

A Tabela 40 mostra o resultado deste experimento, as células mostram os valores médios obtidos para a FO e seu respectivo desvio padrão. Os valores destacados na tabela seguem os mesmos moldes do experimento anterior.

Neste experimento, o sistema possui apenas 78 clientes, a Ef manteve-se no máximo, pois a Bd foi positiva em todas as demandas de vídeos.

A falta de demanda por parte de clientes LD foi decisiva na qualidade da FO do sistema, pois, quanto maior o valor da Bd, maior é o valor da FO e conseqüentemente mais otimizado se torna o MOIPTV. O valor da FO para este experimento foi de 1.336,89.

Tabela 40: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=75 e Nbmax=50

Nº CLIENTES: 119 LISTA TABU = 75; NBMAX = 50;	RESULTADO DO EXPERIMENTO COM A BT		
	HD	SD	LD
Tt	94,31	94,51	90,66
Qv	98,24	92,03	71,01
Tc	18	27	33
Lb	13,26	13,07	1,88
Qa		0,64	
Bd	4,31	13,51	41,16
FO		1.336,89	
σ		39,95	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir, possui as seguintes configurações: LT igual a 75 e Nbmax igual a 100, conforme as Tabelas 26 e 27. Neste experimento, ilustrado na Tabela 41, o sistema possui 109 clientes. A Ef em HD não manteve-se estável com resultado de 92,85%, devido a uma sobrecarga do sistema, causada pela taxa de transmissão ter sido insuficiente para manter a demanda atual de clientes HD. Nas demais demandas de vídeos (SD e LD) o sistema MOIPTV manteve-se bastante estável, proporcionando uma Ef de 100%. O valor da FO para este experimento foi de 1.208,63.

Tabela 41: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=75 e Nbmax=100

Nº CLIENTES: 119 LISTA TABU = 75; NBMAX = 100;	RESULTADO DO EXPERIMENTO COM A BT		
	HD	SD	LD
Tt	65,81	96,08	98,42
Qv	79,78	84,68	57,16
Tc	14	32	63
Lb	10,29	14,57	1,62
Qa		0,87	
Bd	-4,19	0,08	3,92
FO		1.208,63	
σ		26,67	
Ef	92,85%	100%	100%

O experimento a seguir, possui as seguintes configurações: LT igual a 75 e Nbmax igual a 200, conforme as Tabelas 26 e 27.

Neste experimento da Tabela 42, o sistema possui 99 clientes. Observa-se que a Ef voltou a obter seu valor máximo. Esse resultado só foi possível, devido à distribuição e ao equilíbrio proporcional dos tipos de clientes, conforme suas demandas. Contudo, os valores obtidos por Bd nas três demandas foram relativamente baixos, influenciando diretamente sobre a FO, cujo valor foi de 1.287,34.

Tabela 42: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=75 e Nbmax=200

Nº CLIENTES: 119 LISTA TABU = 75; NBMAX = 200;	RESULTADO DO EXPERIMENTO COM A BT		
	HD	SD	LD
Tt	95,34	90,84	86,17
Qv	97,98	74,38	59,77
Tc	18	29	52
Lb	13,61	11,97	1,93
Qa		0,78	
Bd	5,34	3,84	8,17
FO		1.287,34	
σ		30,19	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir, possui as seguintes configurações: LT igual a 75 e Nbmax igual a 750, conforme as Tabelas 26 e 27. Neste experimento da Tabela 43, o sistema possui 79 clientes, a Ef manteve-se no máximo, a Tt manteve-se abaixo do habitual, com aproximadamente 87% nas três demandas (HD, SD e LD). A Bd teve bastante variação de uma demanda a outra, porém foi possível atender a todos os clientes. O valor da FO para este experimento foi de 1.299,35.

Tabela 43: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=75 e Nbmax=750

Nº CLIENTES: 119 LISTA TABU = 75; NBMAX = 750;	RESULTADO DO EXPERIMENTO COM A BT		
	HD	SD	LD
Tt	86,29	87,99	86,39
Qv	89,79	74,78	98,15
Tc	17	27	35
Lb	23,33	13,31	1,92
Qa		0,93	
Bd	1,29	6,99	33,89
FO		1.299,35	
σ		19,11	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir, possui as seguintes configurações: LT igual a 75 e Nbmax igual a 2000, conforme as Tabelas 26 e 27.

Neste experimento da, Tabela 44, o sistema possui 106 clientes. O valor da Ef manteve-se estável e no máximo. Esse resultado foi possível devido a uma boa distribuição das demandas de clientes, através da quantidade de Bd disponível. Observa-se também que o valor de Nbmax igual 2000 força a BT passar mais tempo procurando por resultados melhores. O resultado deste experimento elevou a demanda de clientes, mas sem provocar a sobrecarga em Bd, mantendo a Ef em todos os tipos de clientes (HD, SD e LD), um resultado final bastante satisfatório. O valor da FO para esse experimento foi de 1.286,87.

Tabela 44: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=75 e Nbmax=2000

Nº CLIENTES: 119 LISTA TABU = 75; NBMAX = 2000;	RESULTADO DO EXPERIMENTO COM A BT		
	HD	SD	LD
Tt	90,68	99,09	88,80
Qv	99,23	86,21	90,44
Tc	18	31	57
Lb	19,34	14,39	1,94
Qa		0,99	
Bd	0,68	6,09	3,3
FO		1.286,87	
σ		27,98	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: LT igual a 100 e Nbmax igual a 50, conforme as Tabelas 26 e 27. Neste experimento, da Tabela 45, o

sistema possui 78 clientes. O valor da Ef manteve-se no máximo. Foi observada uma alta taxa de Bd em HD, ao contrário do resultado obtido em SD e LD. Este fato, porém, proporcionou uma boa distribuição das demandas de clientes, através da quantidade de Bd disponível. O valor da FO para esse experimento foi de 1.296,71.

Tabela 45: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=100 e Nbmax=50

Nº CLIENTES: 119 LISTA TABU = 100; NBMAX = 50;	RESULTADO DO EXPERIMENTO COM A BT		
	HD	SD	LD
Tt	97,65	77,84	68,52
Qv	88,02	55,26	99,99
Tc	13	24	41
Lb	20,51	12,41	1,81
Qa		0,89	
Bd	32,65	5,84	7,02
FO		1.296,71	
σ		13,32	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir, possui as seguintes configurações: LT igual a 100 e Nbmax igual a 100, conforme as Tabelas 26 e 27. Neste experimento, da Tabela 46, o sistema possui 98 clientes. O valor da Ef manteve-se estável e no máximo. Esse resultado só foi possível, devido a uma boa distribuição das demandas dos clientes HD e SD, onde o valor da Bd chegou a mais de 20Mb. Contudo em LD, a Bd chegou a valores menores que 1Mb, ou seja, nessa demanda o MOIPTV atingiu o máximo de clientes que poderiam ser atendidos. O valor da FO para este experimento foi de 1.313,74.

Tabela 46: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=100 e Nbmax=100

Nº CLIENTES: 119 LISTA TABU = 100; NBMAX = 100;	RESULTADO DO EXPERIMENTO COM A BT		
	HD	SD	LD
Tt	95,60	74,67	99,83
Qv	72,02	71,96	85,03
Tc	14	18	66
Lb	24,88	11,15	1,89
Qa		0,81	
Bd	25,60	20,67	0,83
FO		1.313,74	
σ		19,27	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir, possui as seguintes configurações: LT igual a 100 e Nbmax igual a 200, conforme as Tabelas 26 e 27. Neste experimento, da Tabela 47,

o sistema possui 90 clientes. . O valor da Ef manteve-se estável e no máximo. Esse resultado foi possível devido a uma boa distribuição das demandas de clientes, através da quantidade de Bd disponível. Esse resultado obteve uma Ef de boa qualidade. O valor da FO para esse experimento foi de 1.322,64.

Tabela 47: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=100 e Nbmax=200

Nº CLIENTES: 119	RESULTADO DO EXPERIMENTO COM A BT		
LISTA TABU = 100; NBMAX = 200;	HD	SD	LD
Tt	93,39	93,29	86,73
Qv	98,34	92,28	67,27
Tc	15	23	52
Lb	20,27	10,13	1,78
Qa		0,82	
Bd	18,39	24,29	8,73
FO		1.322,64	
σ		42,58	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: LT igual a 100 e Nbmax igual a 750, conforme as Tabelas 26 e 27. Neste experimento da Tabela 48, o sistema possui 114 clientes, a Ef manteve-se estável e no máximo. Esse resultado foi possível devido a uma ótima distribuição das demandas de clientes, através da quantidade de Bd disponível, uma vez que devido à alta taxa de demanda o MOIPTV deve equilibrar essas demandas de modo que não haja sobrecarga no sistema, para que se mantenha a Ef sempre no máximo, obtendo resultados de melhor qualidade e mais otimizado possível. O valor da FO para este experimento foi de 1.299,18.

Tabela 48: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=100 e Nbmax=750

Nº CLIENTES: 119	RESULTADO DO EXPERIMENTO COM A BT		
LISTA TABU = 100; NBMAX = 750;	HD	SD	LD
Tt	95,88	94,59	99,50

Qv	44,82	89,82	93,15
Tc	17	31	66
Lb	23,51	14,81	1,60
Qa		0,90	
Bd	10,88	1,59	0,50
FO		1.299,18	
σ		30,00	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir, possui as seguintes configurações: LT igual a 100 e Nbmax igual a 2000, conforme as Tabelas 26 e 27. Neste experimento da Tabela 49, o sistema possui 99 clientes, a Ef manteve-se no máximo. Esse resultado foi possível devido a uma distribuição das demandas de clientes, através da quantidade de Bd disponível. O valor da FO para este experimento foi de 1.311,67.

Tabela 49: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=100 e Nbmax=2000

Nº CLIENTES: 119 LISTA TABU = 100; NBMAX = 2000;	RESULTADO DO EXPERIMENTO COM A BT		
	HD	SD	LD
Tt	99,04	97,64	87,98
Qv	95,81	96,36	75,27
Tc	19	27	53
Lb	18,86	9,98	1,54
Qa		0,95	
Bd	4,04	16,64	8,48
FO		1.311,67	
σ		41,68	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: Lista Tabu igual a 200 e Nbmax igual a 50, conforme as Tabelas 26 e 27. Neste experimento da Tabela 50, o sistema possui 80 clientes, a Ef manteve-se no máximo. Esse resultado foi possível devido a uma distribuição das demandas de clientes, através da quantidade de Bd disponível, contudo a Bd em LD teve o menor valor, chegando a quase 4Mb o que manteve esse resultado de Ef com boa qualidade. O valor da FO para esse experimento foi de 1.289,84.

Tabela 50: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=200 e Nbmax=50

Nº CLIENTES: 119 LISTA TABU = 200; NBMAX = 50;	RESULTADO DO EXPERIMENTO COM A BT		
	HD	SD	LD
Tt	95,69	87,96	66,99
Qv	47,48	94,22	91,42

Tc	15	23	42
Lb	22,56	11,83	1,63
Qa		0,83	
Bd	20,69	18,96	3,99
FO		1.289,84	
σ		44,59	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: LT igual a 200 e Nbmax igual a 100, conforme as Tabelas 26 e 27. Neste experimento da Tabela 51, o sistema possui 101 clientes, a Ef não manteve-se estável em SD com 96%. Esse resultado foi gerado devido a uma sobrecarga na demanda de clientes SD. Apesar de as demandas de HD e LD provocarem uma baixa no valor de Bd, a Ef foi suficiente para atender todos os clientes. O valor da FO para este experimento foi de 1.194,91.

Tabela 51: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=200 e Nbmax=100

Nº CLIENTES: 119 LISTA TABU = 200; NBMAX = 100;	RESULTADO DO EXPERIMENTO COM A BT		
	HD	SD	LD
Tt	75,32	74,63	93,99
Qv	76,17	90,45	93,99
Tc	15	25	61
Lb	23,00	7,41	1,97
Qa		0,55	
Bd	0,32	-0,37	2,49
FO		1.194,91	
σ		34,61	
Ef	100%	96,00%	100%

O experimento a seguir, possui as seguintes configurações: LT igual a 200 e Nbmax igual a 200, conforme as Tabelas 26 e 27. Neste experimento da Tabela 52, o sistema possui 83 clientes, a Ef voltou a atingir seu valor máximo. Esse resultado foi devido a uma baixa procura de clientes HD e SD, resultando na alta disponibilidade de Bd do sistema, o que contribuiu para que a FO atingisse resultados mais otimizados. O valor da FO para este experimento foi de 1.305,82.

Tabela 52: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=200 e Nbmax=200

Nº CLIENTES: 119 LISTA TABU = 200; NBMAX = 200;	RESULTADO DO EXPERIMENTO COM A BT		
	HD	SD	LD
Tt	97,08	56,03	97,09
Qv	99,29	97,34	94,71

Tc	15	12	56
Lb	23,20	5,43	1,89
Qa		0,98	
Bd	22,08	20,03	13,09
FO		1.305,82	
σ		30,19	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: LT igual a 200 e Nbmax igual a 750, conforme as Tabelas 26 e 27. Neste experimento da Tabela 53, o sistema possui 61 clientes, a Ef em HD possui valor de apenas 94,11%. Mesmo com essa quantidade baixa de clientes, o MOIPTV não conseguiu obter bons resultados. Esse resultado foi devido a uma baixa taxa de transmissão (Tt) obtida em HD, ocasionando uma sobrecarga de clientes HD. Apesar desse cenário, a Bd em LD teve a maior alta, provocando um bom resultado no valor de FO, chegando a 1.310,98.

Tabela 53: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=200 e Nbmax=750

Nº CLIENTES: 119 LISTA TABU = 200; NBMAX = 750;	RESULTADO DO EXPERIMENTO COM A BT		
	HD	SD	LD
Tt	80,93	98,33	97,93
Qv	79,77	79,12	90,85
Tc	17	27	17
Lb	20,42	13,47	1,91
Qa		0,90	
Bd	-4,07	17,33	72,43
FO		1.310,98	
σ		59,43	
Ef	94,11%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: LT igual a 200 e Nbmax igual a 2000, conforme as Tabelas 26 e 27. Neste experimento da Tabela 54, o sistema possui 96 clientes, a Ef foi bastante parecida com o cenário anterior, resultando em 95% em HD. Esse resultado ocorreu devido a uma sobrecarga pela falta de Bd suficiente para atender a toda demanda de clientes em HD. O restante das demandas permaneceu estável. O valor da FO para este experimento foi de 1.232,25.

Tabela 54: Médias de 100 Execuções Obtidas com LT=200 e Nbmax=2000

Nº CLIENTES: 119 LISTA TABU = 200; NBMAX = 2000;	RESULTADO DO EXPERIMENTO COM A BT		
	HD	SD	LD
Tt	96,05	94,77	77,75

Qv	86,69	95,58	85,58
Tc	20	26	50
Lb	24,74	11,35	1,92
Qa		0,96	
Bd	-3,95	16,77	2,75
FO		1.232,25	
σ		37,37	
Ef	95,00 %	100%	100%

O gráfico da figura 16, mostra de forma resumida, o resultado dos valores da FO em relação à taxa de eficiência (Ef), encontrada nos testes da BT, conforme as variações do tamanho da LT e do Nbmax.

Nota-se, por meio do gráfico, que a ocorrência de sobrecarga aconteceu 7 vezes. A menor taxa (77,27%) foi encontrada no quarto experimento, onde os valores da LT foi igual a 25 e do Nbmax igual a 750. As demais ocorrências mantiveram a Ef acima de 90%. Já em relação a FO, a melhor configuração encontrada foi logo no primeiro experimento, obtendo o valor da FO igual a 1.395,89, e o pior valor da FO encontrado foi no quarto experimento, com apenas 1.155,46.

Figura 16: Gráfico com Resultado Final da BT

6.1.3 Etapa 3: Experimentos Envolvendo o Algoritmo Genético

A terceira etapa de experimentos tem o objetivo de estudar as influências da taxa de cruzamento e da taxa de mutação, para geração de melhores resultados de FO para a parametrização do MOIPTV.

O tamanho da população será de 1.000 indivíduos. A Tabela 55 mostra os valores propostos para a taxa de cruzamento e a Tabela 56 mostra os valores propostos para a taxa de mutação.

Tabela 55: Valores Atribuídos a Taxa de Cruzamento

Taxa de Cruzamento
10
25
50
75
90

Tabela 56: Valores Atribuídos a Taxa de Mutação

Taxa de Mutação
0
5
10
15
25

A tabela apresentada com os resultados segue o padrão da Tabela 57, na qual a primeira linha designa o número de clientes por tipo; a segunda linha adota os valores da taxa de cruzamento (TC) e da taxa de mutação (TM), seguidos pelos formatos de vídeos HD, SD e LD. As colunas identificam os valores das variáveis de decisão, que estão sendo analisados em cada experimento. Os resultados exibidos são os valores médios de 100 execuções, obtidos para a função objetivo (FO) e o desvio padrão (σ), com base nos parâmetros mostrados.

Tabela 57: Modelo Demonstrativo de Resultados do AG

Nº CLIENTES: TC = TM =	IDENTIFICAÇÃO		
	HD	SD	LD
Tt			
Qv			
Tc			
Lb			
Qa			
Bd			
FO			
σ			
Ef			

O número de clientes será distribuído conforme Tabela 58, para efeito de comparação com a BT no experimento anterior, além de estudar o comportamento do sistema.

Tabela 58: Número de Clientes para os Experimentos do AG

Número de clientes iniciais	
Experimentos	NCl _i
1º	50
2º	75
3º	100
4º	125
A partir do 5º	≤ 119

Observamos que, a partir do quinto experimento, o número de clientes é gerado de forma randômica pelo sistema, de modo a distribuí-los conforme sua demanda, sem que estoure o limite suportado pelo MOIPTV, que é de 119 clientes (conforme seção 6.1.2). Contudo, isso não impede que a demanda de clientes estoure a capacidade do sistema em entregar com Ef máxima, a exemplo dos casos anteriores, em que a Ef foi inferior a 100%, ou seja, alguns clientes não foram atendidos pelo sistema em virtude de não ter banda suficiente.

Além da análise realizada por meio dessas tabelas, são traçados comparativos entre as soluções obtidas, avaliando os benefícios e as peculiaridades através de gráfico, ao final dos experimentos.

Os experimentos são realizados, inicialmente, com TC igual a 10 e TM igual a zero, conforme especificado, anteriormente, nas Tabelas 55 e 56.

A Tabela 59 mostra o resultado deste experimento, as células mostram os valores médios obtidos para a FO e seu respectivo desvio padrão. Os valores

destacados na tabela mostram os melhores resultados obtidos, considerando todos os conjuntos de parâmetros.

A análise deste experimento, segue o mesmo padrão da análise da BT onde serão destacados os valores de maior influência em relação a FO e em relação a Ef.

No experimento da Tabela 59, observa-se que a Ef manteve-se no máximo em todas as demandas. Vale destacar que, para este experimento, a quantidade de cliente é pré-fixada e que tem influência direta sobre o resultado da FO do MOIPTV, provocando uma ociosidade do sistema que, conseqüentemente, aumenta a Bd total. O valor da FO para este experimento foi de 1.364,37.

Tabela 59: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=10 e TM=0

Nº CLIENTES = 50	RESULTADO DO EXPERIMENTO COM A BT		
TC = 10 TM = 0	HD	SD	LD
Tt	76,12	95,59	77,51
Qv	99,28	98,31	94,35
Tc	12	10	28
Lb	24,11	14,16	1,92
Qa		0,92	
Bd	16,12	65,59	35,51
FO		1.364,37	
σ		10,20	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: TC igual a 10 e TM igual a 5, conforme as Tabelas 55 e 56.

No experimento da Tabela 60, observa-se que a Ef manteve-se estável e no máximo. Vale destacar que, para este experimento, a quantidade de clientes também é pré-fixada e que tem influência direta sobre o resultado do MOIPTV, ocasionando a ociosidade do sistema que, conseqüentemente, provoca um aumento da Bd em todas as demandas do sistema. Contudo, houve um decréscimo no valor da FO considerável, devido ao aumento de clientes, em relação ao experimento anterior, mas não foi suficiente para obter melhores desempenhos e combater a ociosidade do sistema. O valor da FO para este experimento foi de 1.351,09.

Tabela 60: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=10 e TM=5

Nº CLIENTES = 75 TC = 10 TM = 5	IDENTIFICAÇÃO		
	HD	SD	LD
Tt	98,94	93,84	78,01
Qv	96,14	99,17	59,25
Tc	14	17	44
Lb	23,56	14,72	1,89
Qa		0,96	
Bd	28,94	42,84	12,01
FO		1.351,09	
σ		48,82	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: TC igual a 10 e TM igual a 10, conforme as Tabelas 55 e 56. No experimento da Tabela 61, observe-se que a Ef também manteve-se no máximo. Agora o número de clientes é 100, o que provocou uma distribuição balanceada entre as demandas e proporcionou uma diminuição da Bd e na FO, por estarem diretamente relacionadas. O valor da FO para esse experimento foi de 1.345,56.

Tabela 61: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=10 e TM=10

Nº CLIENTES = 100 TC = 10 TM = 10	IDENTIFICAÇÃO		
	HD	SD	LD
Tt	99,13	98,66	99,10
Qv	95,72	98,92	97,73
Tc	17	25	58
Lb	24,20	14,95	1,99
Qa		0,99	
Bd	14,13	23,66	12,1
FO		1.345,56	
σ		26,75	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: TC igual a 10 e TM igual a 15, conforme as Tabelas 55 e 56. No experimento da Tabela 62, observe-se que quando há um aumento exagerado de clientes, ocorre também a sobrecarga. Isso se explica, pois a quantidade de Bd é inferior à demanda de clientes. Neste experimento, houve sobrecargas sob as demandas de HD e SD com 10Mb e 11Mb negativos, respectivamente. O resultado da Ef foi de apenas 86,36% para HD e 89,18% para SD, considerado bastante abaixo da média atingida pelo MOIPTV. O valor da FO para este experimento foi de 1.176,30.

Tabela 62: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=10 e TM=15

Nº CLIENTES = 125	IDENTIFICAÇÃO		
	TC = 10 TM = 15	HD	SD
Tt	99,84	99,83	99,65
Qv	99,64	97,21	96,93
Tc	22	37	66
Lb	24,79	14,77	1,98
Qa		0,99	
Bd	-10,16	-11,17	0,65
FO		1.176,30	
σ		21,55	
Ef	86,36%	89,18%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: TC igual a 10 e TM igual a 25, conforme as Tabelas 55 e 56. No experimento da Tabela 63, observa-se que, a partir de agora, o sistema irá gerar a demanda de clientes, conforme a Tt. Poderá, contudo, ocasionar sobrecargas, já que se trata de um gerador de números aleatórios, para que se observe a simulação de comportamento de um ambiente real.

A Ef neste experimento obteve seu valor máximo em todas as demandas. O sistema MOIPTV fez a distribuição dos clientes conforme suas demandas, as quais contribuíram para este resultado. O número total de clientes foi de 108. O valor da FO para esse experimento foi de 1.320,72.

Tabela 63: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=10 e TM=25

Nº CLIENTES ≤ 119	IDENTIFICAÇÃO		
	TC = 10 TM = 25	HD	SD
Tt	99,73	99,32	99,96
Qv	98,07	94,69	99,23
Tc	18	33	57
Lb	23,94	14,88	1,99
Qa		0,67	
Bd	9,73	0,32	14,46
FO		1.320,72	
σ		53,69	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: TC igual a 25 e TM igual a 0, conforme as Tabelas 55 e 56. No experimento da Tabela 64, obteve-se apenas 69 clientes, distribuídos conforme suas demandas. Nota-se que houve apenas

7 clientes para a demanda de SD, ocasionando o aumento de Bd, que, por sua vez, contribuiu para uma FO de valor 1.330,35.

Tabela 64: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=25 e TM=0

Nº CLIENTES ≤ 119	IDENTIFICAÇÃO			
	TC = 25 TM = 0	HD	SD	LD
Tt		97,89	66,69	87,00
Qv		91,54	73,52	65,81
Tc		16	7	46
Lb		22,51	13,84	1,74
Qa			0,92	
Bd		17,89	45,69	18
FO			1.330,35	
σ			43,10	
Ef		100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: TC igual a 25 e TM igual a 5, conforme as Tabelas 55 e 56. No experimento da Tabela 65, obtivemos 96 clientes, distribuídos conforme suas demandas. Nota-se que a menor demanda foi a HD, com Bd de 39,72Mb. As outras demandas (SD e LD), porém, obtiveram resultados elevados, o que proporcionou um balanceamento da FO, ficando no valor de 1.339,29 acarretando um resultado muito satisfatório.

Tabela 65: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=25 e TM=5

Nº CLIENTES ≤ 119	IDENTIFICAÇÃO			
	TC = 25 TM = 5	HD	SD	LD
Tt		99,72	92,47	94,76
Qv		89,99	97,59	98,72
Tc		12	30	54
Lb		23,24	13,92	1,88
Qa			0,92	
Bd		39,72	2,47	13,76
FO			1.339,29	
σ			59,83	
Ef		100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: TC igual a 25 e TM igual a 10, conforme as Tabelas 55 e 56. No experimento da Tabela 66, obtivemos 108 clientes, distribuídos conforme suas demandas. Nota-se que, neste experimento, a distribuição foi balanceada e que o valor de Bd ficou em torno de 8Mb em todas as

demandas, proporcionando um resultado final da FO bastante abaixo da média, com 1.312,45.

Tabela 66: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=25 e TM=10

Nº CLIENTES ≤ 119	IDENTIFICAÇÃO			
	TC = 25 TM = 10	HD	SD	LD
Tt		97,41	95,37	98,94
Qv		92,63	96,20	95,60
Tc		18	29	61
Lb		24,01	14,45	1,98
Qa			0,86	
Bd		7,41	8,37	7,44
FO			1.312,45	
σ			19,65	
Ef		100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: TC igual a 25 e TM igual a 15, conforme as Tabelas 74 e 75. No experimento da Tabela 67, obteve-se 110 clientes. Observa-se que ocorreu uma sobrecarga na demanda de clientes SD, pois não houve sobra de banda suficiente para atender o total de clientes conectados, ocasionando uma baixa na Ef de SD em 96,87%. As demais ficaram estáveis em seu valor máximo. O valor da FO para este experimento foi de 1.255,72.

Tabela 67: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=25 e TM=15

Nº CLIENTES ≤ 119	IDENTIFICAÇÃO			
	TC = 25 TM = 15	HD	SD	LD
Tt		96,55	94,83	98,72
Qv		93,32	92,62	98,20
Tc		17	32	61
Lb		24,81	14,06	1,99
Qa			0,99	
Bd		11,55	-1,17	7,22
FO			1.255,72	
σ			26,31	
Ef		100%	96,87%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: TC igual a 25 e TM igual a 25, conforme as Tabelas 55 e 56. No experimento da Tabela 68, obteve-se 105 clientes. Houve uma melhora na Ef, estabilizando em 100% devido à distribuição dos clientes, conforme suas demandas, proporcionada pelo aumento

significativo das taxas de cruzamento (TC), e da taxa de mutação (TM), ocorrida no AG. O valor da FO para este experimento foi de 1.308,57.

Tabela 68: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=25 e TM=25

Nº CLIENTES ≤ 119	IDENTIFICAÇÃO		
	TC = 25 TM = 25	HD	SD
Tt	98,78	99,41	93,97
Qv	98,78	98,24	99,30
Tc	19	32	54
Lb	24,64	14,94	1,97
Qa		0,99	
Bd	3,78	3,41	12,97
FO		1.308,57	
σ		25,01	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: TC igual a 50 e TM igual a 0, conforme as Tabelas 55 e 56. No experimento da Tabela 69, obtivemos 83 clientes. A baixa das demandas de HD e SD, com apenas 11 clientes, fez com que a Bd tivesse um aumento maior que o normal, maximizando o valor da FO em 1.296,59 e, conseqüentemente, tornando o MOIPTV mais otimizado para esse experimento.

Tabela 69: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=50 e TM=0

Nº CLIENTES ≤ 119	IDENTIFICAÇÃO		
	TC = 50 TM = 0	HD	SD
Tt	81,19	86,43	97,54
Qv	93,93	92,42	93,23
Tc	11	11	61
Lb	20,61	11,72	1,89
Qa		0,89	
Bd	26,19	53,43	6,04
FO		1.296,59	
σ		50,47	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: TC igual a 50 e TM igual a 5. No experimento da Tabela 70, obtivemos 79 clientes. Mais uma vez, os valores obtidos em Bd foram de grande influência na geração da FO, fazendo com que o sistema se tornasse mais otimizado. O valor da FO para esse experimento foi de 1.370,60.

Tabela 70: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=50 e TM=5

Nº CLIENTES ≤ 119	IDENTIFICAÇÃO		
	TC = 50 TM = 5	HD	SD
Tt	96,61	96,92	92,51
Qv	97,98	98,79	93,02
Tc	12	25	42
Lb	22,89	12,82	1,26
Qa		0,98	
Bd	36,61	21,92	29,51
FO		1.370,60	
σ		28,62	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: TC igual a 50 e TM igual a 10, conforme as Tabelas 74 e 75. No experimento da Tabela 71, obtivemos 88 clientes. A Ef manteve-se estável e no máximo. Contudo, com o aumento de demanda, a Bd tende a diminuir, fazendo com que a FO diminua. O valor da FO para este experimento foi de 1.323,62.

Tabela 71: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=50 e TM=10

Nº CLIENTES ≤ 119	IDENTIFICAÇÃO		
	TC = 50 TM = 10	HD	SD
Tt	86,18	92,24	97,44
Qv	97,95	92,54	96,53
Tc	15	28	45
Lb	23,03	14,63	1,85
Qa		0,84	
Bd	11,18	8,24	29,94
FO		1.323,62	
σ		48,79	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: TC igual a 50 e TM igual a 15, conforme as Tabelas 55 e 56. No experimento da Tabela 72, obtivemos 112 clientes. A Ef manteve-se estável e com seu valor máximo. O MOIPTV procura distribuir essa demanda de forma que não haja sobrecarga, mesmo que isso implique a diminuição da FO. O valor da FO para este experimento foi de 1.310,06.

Tabela 72: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=50 e TM=15

Nº CLIENTES ≤ 119	IDENTIFICAÇÃO		
	TC = 50 TM = 15	HD	SD
Tt	96,06	99,90	98,48
Qv	94,30	97,62	95,78
Tc	18	30	64
Lb	24,93	13,87	1,98
Qa		0,96	
Bd	6,06	9,9	2,48
FO		1.310,06	
σ		57,03	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: TC igual a 50 e TM igual a 25, conforme as Tabelas 55 e 56. No experimento da Tabela 73, obtivemos novamente 112 clientes. Agora a situação é inversa, com o aumento da TM para 25, o MOIPTV obteve uma sobrecarga na demanda HD devido a Bd não ter sido suficiente para suprir a demanda exigida, o que ocasionou a perda da Ef, com 94,73%. O valor da FO para este experimento foi de 1.241,36.

Tabela 73: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=50 e TM=25

Nº CLIENTES ≤ 119	IDENTIFICAÇÃO		
	TC = 50 TM = 25	HD	SD
Tt	92,56	99,19	96,88
Qv	94,88	93,59	98,67
Tc	19	33	60
Lb	24,93	14,53	1,96
Qa		0,94	
Bd	-2,44	0,19	6,88
FO		1.241,36	
σ		58,53	
Ef	94,73%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: TC igual a 75 e TM igual a 0, conforme as Tabelas 55 e 56. No experimento da Tabela 74, obtivemos 94 clientes. A Ef total manteve-se estável e no máximo, apenas com quantidade de clientes reduzida em HD, o que gerou aumento de Bd em HD. Quanto às demais demandas (SD e LD), mantiveram-se em baixa, com menos de 10Mb. O valor da FO manteve-se na média, com 1.300,38.

Tabela 74: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=75 e TM=0

Nº CLIENTES ≤ 119	IDENTIFICAÇÃO		
	TC = 75 TM = 0	HD	SD
Tt	82,43	93,33	88,59
Qv	99,00	99,02	89,84
Tc	12	29	53
Lb	20,64	12,95	1,97
Qa		0,86	
Bd	22,43	6,33	9,09
FO		1.300,38	
σ		48,38	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: TC igual a 75 e TM igual a 5, conforme as Tabelas 55 e 56. No experimento da Tabela 75, obtivemos 105 clientes. A Ef total manteve-se estável e no máximo, contudo os valores da Bd em HD e LD não foram maiores que 2.5Mb. Já em SD, a Bd teve uma boa média, chegando a 18Mb. O valor da FO também teve um aumento na média, com 1.303,25.

Tabela 75: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=75 e TM=5

Nº CLIENTES ≤ 119	IDENTIFICAÇÃO		
	TC = 75 TM = 5	HD	SD
Tt	92,13	96,68	93,75
Qv	97,70	92,25	94,20
Tc	18	26	61
Lb	24,84	13,91	1,75
Qa		0,95	
Bd	2,13	18,68	2,25
FO		1.303,25	
σ		50,64	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: TC igual a 75 e TM igual a 10, conforme as Tabelas 55 e 56. No experimento da Tabela 76, obteve-se 106 clientes. O aumento de TM para 10 provocou uma demanda superior de clientes em SD, causou sobrecarga e, conseqüentemente, impulsionou negativamente Ef, que resultou em 93,93%, estando abaixo da média. O valor da FO também teve um decréscimo significativo, estabilizando com 1.244,06.

Tabela 76: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=75 e TM=10

Nº CLIENTES ≤ 119	IDENTIFICAÇÃO		
	TC = 75 TM = 10	HD	SD
Tt	90,59	95,63	97,92
Qv	95,37	98,47	95,33
Tc	18	33	55
Lb	24,59	14,01	1,81
Qa		0,95	
Bd	0,59	-3,37	15,42
FO		1.244,06	
σ		49,30	
Ef	100%	93,93%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: TC igual a 75 e TM igual a 15, conforme as Tabelas 55 e 56. No experimento da Tabela 77, obteve-se 113 clientes. Apesar de o número de clientes ser relativamente grande, o MOIPTV manteve-se estável, com o valor de Ef no máximo. O valor da FO finalizou com 1.332,68.

Tabela 77: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=75 e TM=15

Nº CLIENTES ≤ 119	IDENTIFICAÇÃO		
	TC = 75 TM = 15	HD	SD
Tt	95,94	99,33	99,44
Qv	93,57	94,34	97,19
Tc	18	30	65
Lb	24,24	14,87	1,98
Qa		0,98	
Bd	5,94	9,33	1,94
FO		1.332,68	
σ		31,54	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: TC igual a 75 e TM igual a 25, conforme as Tabelas 55 e 56. No experimento da Tabela 78, obteve-se 101 clientes. Não houve grande mudança em relação ao experimento anterior, contudo a FO teve melhor desempenho, devido ao leve aumento de Bd, através do aumento de TM para 25. O valor da FO, no geral, manteve-se na média com valor de 1.328,22.

Tabela 78: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=75 e TM=25

Nº CLIENTES ≤ 119	IDENTIFICAÇÃO		
	TC = 75 TM = 25	HD	SD
Tt	99,71	97,04	98,95
Qv	97,94	94,73	97,09
Tc	19	28	54
Lb	24,37	14,36	1,99
Qa		0,96	
Bd	4,71	13,04	17,95
FO		1.328,22	
σ		46,98	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: TC igual a 90 e TM igual a 0, conforme as Tabelas 55 e 56. No experimento da Tabela 79, obteve-se apenas 57 clientes. Com o aumento de TC para 90, o MOIPTV obteve melhores resultados, tornando o sistema otimizado, pela falta de demanda nas três qualidades de vídeo (HD, SD e LD). O valor da FO manteve-se acima da média, com valor de 1.405,06.

Tabela 79: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=90 e TM=0

Nº CLIENTES ≤ 119	IDENTIFICAÇÃO		
	TC = 90 TM = 0	HD	SD
Tt	96,88	97,07	79,90
Qv	94,84	89,65	96,67
Tc	11	10	36
Lb	24,78	12,42	1,83
Qa		0,84	
Bd	41,88	67,07	25,9
FO		1.405,06	
σ		68,41	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: TC igual a 90 e TM igual a 5, conforme as Tabelas 55 e 56. No experimento da Tabela 80, obteve-se 103 clientes. Já com o aumento gradativo de TM para 5, o AG se comportou de maneira satisfatória. As demandas, nas três qualidades de vídeo (HD, SD e LD), mantiveram-se estáveis, resultando na Ef máxima. Contudo, a Bd gerada pela influência da demanda LD obteve um valor aproximadamente zero. O valor da FO, manteve-se na média com valor de 1.329,47.

Tabela 80: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=90 e TM=5

Nº CLIENTES ≤ 119	IDENTIFICAÇÃO		
	TC = 90 TM = 5	HD	SD
Tt	96,22	92,96	97,60
Qv	96,52	94,75	98,97
Tc	15	23	65
Lb	22,85	14,81	1,99
Qa		0,91	
Bd	21,22	23,96	0,1
FO		1.329,47	
σ		32,80	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: TC igual a 90 e TM igual a 10, conforme as Tabelas 55 e 56. No experimento da Tabela 81, obtivemos 108 clientes. Já com o aumento gradativo de TM para 10, o MOIPTV manteve-se estável, com EF máxima. A FO manteve-se na média, com valor de 1.312,80.

Tabela 81: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=90 e TM=10

Nº CLIENTES ≤ 119	IDENTIFICAÇÃO		
	TC = 90 TM = 10	HD	SD
Tt	99,36	99,49	94,86
Qv	94,97	99,91	94,45
Tc	19	29	60
Lb	24,47	14,56	1,89
Qa		0,97	
Bd	4,36	12,49	4,86
FO		1.312,80	
σ		15,87	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: TC igual a 90 e TM igual a 15, conforme as Tabelas 55 e 56. No experimento da Tabela 82, obteve-se 105 clientes. A Ef manteve-se máxima. A Bd obteve valores um pouco melhores do que o experimento anterior, porém sem maiores influências. O valor da FO manteve-se na média, com valor de 1.318,19.

Tabela 82: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=90 e TM=15

Nº CLIENTES ≤ 119	IDENTIFICAÇÃO		
-------------------	---------------	--	--

TC = 90 TM = 15	HD	SD	LD
Tt	93,06	99,48	98,17
Qv	99,99	99,64	99,88
Tc	17	30	58
Lb	24,84	14,73	1,92
Qa		0,98	
Bd	8,06	9,48	11,17
FO		1.318,19	
σ		73,46	
Ef	100%	100%	100%

O experimento a seguir possui as seguintes configurações: TC igual a 90 e TM igual a 25, conforme as Tabelas 55 e 56. No experimento da Tabela 83, obtivemos 113 clientes. A Ef conseguiu se manter no máximo, porém os valores da Bd em todas as demandas não ultrapassaram 10Mb, o que provocou o decréscimo do valor da FO para 1.308,39.

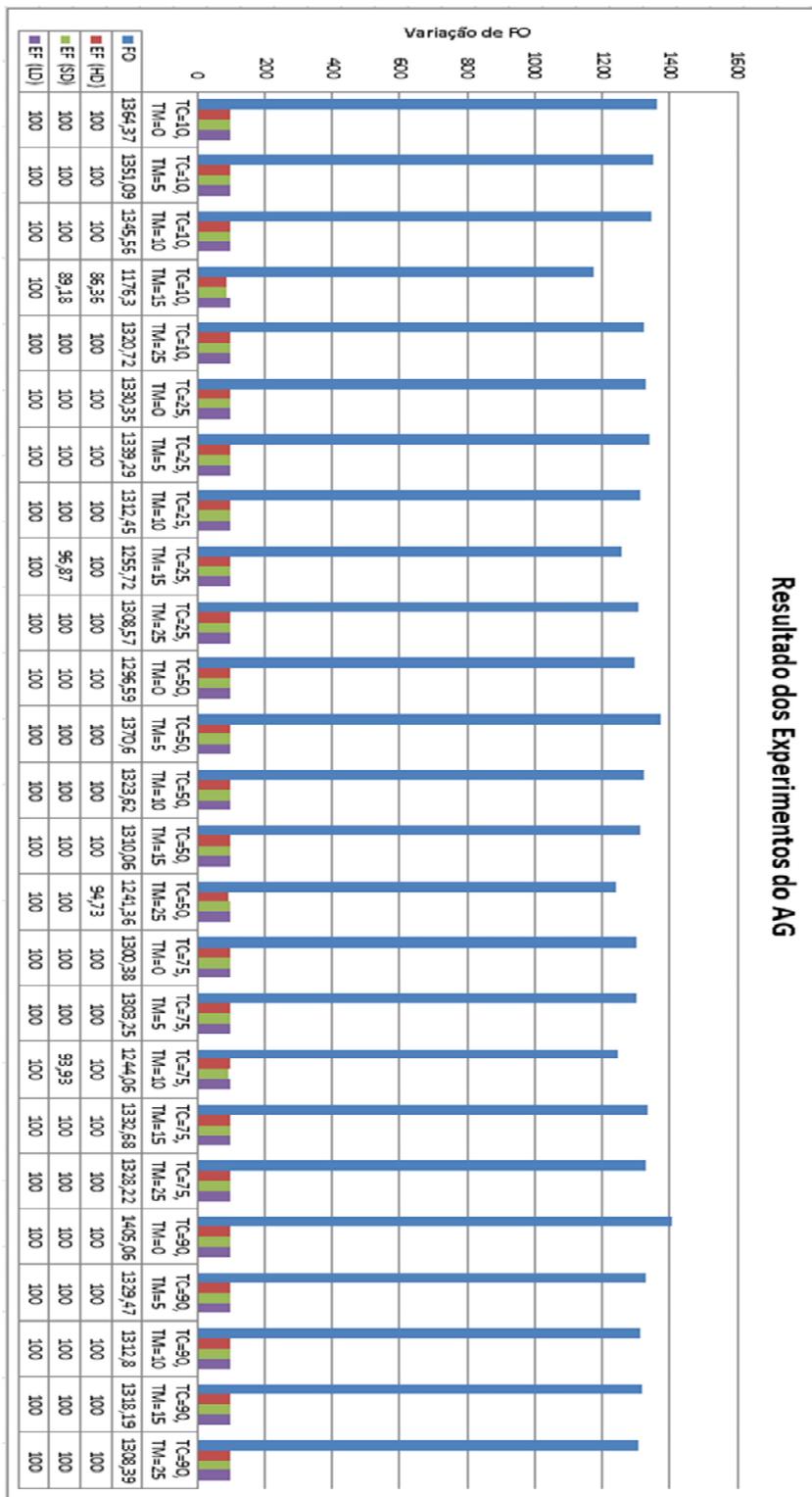
Tabela 83: Médias de 100 Execuções Obtidas com TC=90 e TM=25

Nº CLIENTES ≤ 119	IDENTIFICAÇÃO		
TC = 90 TM = 25	HD	SD	LD
Tt	98,81	99,14	98,66
Qv	99,79	98,54	96,05
Tc	18	33	62
Lb	24,00	14,73	1,98
Qa		0,97	
Bd	8,81	0,14	5,66
FO		1.308,39	
σ		16,20	
Ef	100%	100%	100%

O gráfico da Figura 17 mostra, de forma resumida, o resultado dos valores da FO em relação à taxa de eficiência (Ef), encontrada nos testes do AG, conforme a variação de TC e TM.

Podemos verificar que a melhor configuração do AG foi encontrada com TC igual a 90 e TM igual a 0, obtendo o maior valor da FO de 1.405,06. A pior configuração foi encontrada no quarto experimento, com o valor da FO igual a 1.176,30. Em relação à eficiência de atendimento ao cliente houve apenas quatro ocorrências de sobrecarga no sistema. A Ef variou de 86% a 96%.

Figura 17: Gráfico com Resultado Final do AG



7 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um modelo computacional baseado na implementação de duas metaheurísticas distintas: Busca Tabu (BT) e Algoritmo Genético (AG), para fornecer o gerenciamento de seis parâmetros de entrada do módulo IPTV de uma Plataforma de Convergência Digital (DIGICONV). O objetivo é de obter melhorias, tanto na taxa de transmissão de vídeo, quanto na eficiência da transmissão, por meio da otimização dos parâmetros de entrada do sistema.

Este objetivo foi alcançado, por intermédio da validação dos experimentos computacionais, o que comprovou o funcionamento do MOIPTV. Além disso, conseguimos prever a porcentagem de sobrecarga do sistema, identificando as configurações necessárias para a obtenção de melhor performance do sistema.

Ao analisar os experimentos, verifica-se que a parametrização correta dos métodos tem influência direta nas soluções obtidas. Em relação à BT observou-se que o aumento exagerado do tamanho da Lista Tabu acaba guiando a busca para regiões pouco promissoras do espaço de soluções. Por outro lado, o aumento do N_{bmax} permite que a Busca Tabu prolongue seu processo de exploração, muitas vezes consumindo tempo computacional, sem prover nenhum benefício.

Ainda assim, equívocos na parametrização do algoritmo podem gerar uma busca superficial, a qual abrange um grande espaço de soluções, porém não realizam uma busca aprofundada em regiões promissoras. O número de clientes tem fundamental importância, pois, quando assume valores acima de 119, o valor da E_f fica comprometido devido à grande carga de demanda do sistema em determinado tipo de vídeo (HD, SD ou LD).

Portanto, podemos destacar que os melhores resultados obtidos pelo algoritmo da BT foram encontrados logo no primeiro experimento, com valor da FO igual a 1.395,89. Esse resultado foi possível, pelo valor expressivo de B_d , ocasionado pela pouca demanda de clientes. Esse resultado reforça o objetivo principal atingido neste trabalho, de mostrar em detalhes todas as configurações necessárias para se obter melhores taxas de transmissão de vídeo com a otimização dos recursos disponíveis.

Em relação à parametrização do AG, verificou-se que, à medida que a taxa de cruzamento e a taxa de mutação aumentam, a produção de resultados de melhor qualidade também aumenta. Esse processo sinaliza uma convergência mais

acentuada da população, promovendo uma intensificação da busca em uma região promissora. O aumento da taxa de mutação, por sua vez, faz com que o AG acabe diversificando a busca, retardando a convergência e permitindo que novas regiões possam ser exploradas, o que pode comprometer o sistema, caso haja um aumento excessivo na taxa de mutação.

Pode-se verificar, também, que os operadores genéticos estão diretamente ligados à obtenção de soluções de melhor qualidade. A configuração com o melhor resultado para o AG foi encontrada na Tabela 79, com taxa de cruzamento igual a 90 e a taxa de mutação igual a 0, obtendo o maior valor de FO igual a 1.405,03, devido às altas “sobras” de banda disponível em todas as demandas de vídeos.

Podemos também destacar que houve apenas quatro ocorrências de sobrecarga no sistema, causando uma baixa na Ef, que variou de 86% a 96%, valor bastante aceitável para o MOIPTV .

Os experimentos mostraram que algoritmo MOIPTV, tanto na BT como no AG provou ser robusto, suportando os três formatos de vídeo (HD, SD e LD), além de também ter se mostrado confiável, pois todas as soluções testadas trouxeram uma melhora significativa nas configurações do modelo. As variáveis de decisão escolhidas se mostraram representativas, pois viabilizaram uma correta análise do comportamento do modelo, através da observação das normas, arquiteturas e manuais de referência sobre o assunto.

Por fim, o MOIPTV obteve resultados bem próximos à realidade, atingindo o objetivo proposto para este trabalho, de melhorar as taxas de transmissão, por intermédio das variáveis de decisão, além de obter uma melhor qualidade em termos de eficiência (Ef).

7.1 Trabalhos Futuros

Em relação à BT, pode-se estudar a utilização de outras técnicas de intensificação e diversificação, bem como novas estruturas de vizinhança, voltadas para a parametrização da taxa de transmissão de IPTV. Já quanto ao AG, pode-se utilizar outras variações das taxas de mutação e de cruzamento, a fim de fazer a manutenção adequada da diversidade da população, proporcionando outras áreas promissoras, ao mesmo tempo em que se modifica, quando necessário.

Pode-se usar, também, um Algoritmo Memético (híbrido), visto que, novas técnicas de intensificação podem ser utilizadas no lugar da BT, como, por exemplo,

métodos exatos ou também processamento paralelo. Ainda assim, o Algoritmo Híbrido pode ser aplicado a problemas com mais clientes, de modo a mostrar todo seu poder de busca, tornando-o o mais otimizado possível.

REFERÊNCIAS

- AYTUG, H.; KOEHLER, G. J. **New stopping criterion for genetic algorithms.** European Journal of Operational Research, v. 126, p. 662–674, 2000.
- BEERENDS, J. G.; DE CALUWE, F. E. **The influence of video quality on perceived audio quality and vice versa.** Journal of the Audio Engineering Society, v. 47, p. 355–362, 1999.
- CARVALHO, A. C. P. L. F. DE.; LACERDA, E. G. M. DE. **Introdução aos Algoritmos Genéticos e Sistemas Inteligentes** – Aplicações a Recursos Hídricos e Ciências Ambientais, 1999.
- CHUNG, T. Y. et al. **PNECOS: A peer-to-peer network coding streaming system.** Journal of Internet Technology, v. 10, n. 3, p. 261–270, 2009.
- Coolstreaming the Biggest Internet Tv Platform.** Disponível em: <<http://www.coolstreaming.us/>>. Acesso em: 28 out. 2015.
- CRAINIC, T.G., TOULOUSE, M., GENDREAU, M.: **Toward a taxonomy of parallel tabu search heuristics.** INFORMS J. Comput. 9, 61–72 (1997)
- CRUZ, R. S. et al. **SIP based IPTV architecture for heterogeneous networks.** 2009 10th International Conference on Telecommunications, 2009.
- CUNG, V.-D., MARTINS, S.L., RIBEIRO, C.C., ROUCAIROL, C.: **Strategies for the parallel implementation of metaheuristics.** In: Ribeiro, C.C., Hansen, P. (eds.) Essays and Surveys in Metaheuristics, pp. 263–308. Kluwer, Boston (2002)
- DRISCOLL, G. O. **Next Generation Iptv Services and Technologies,** Wiley-Interscience, 2008.
- FURASTÉ, Pedro Augusto. **Normas Técnicas para o Trabalho Científico.** 16. ed. Porto Alegre: 2012.
- GENDREAU, M.; POTVIN, J.-Y. **Handbook of Metaheuristics.** v. 157, 2011.
- GLOVER, F.; LAGUNA, M. **Tabu Search.** Journal of computational biology a journal of computational molecular cell biology, v. 16, p. 1689–703, 1997.
- GLOVER, F.; LAGUNA, M. **Tabu Search.** Computational biology, v. 16, p. 1–18, 2009.
- GÓMEZ, A. T.; GLUZ, J. C.; BARBOSA J. L. V.; CHIWIACOWSKY, L. . Á.; R. B.; CRESPO, S. C. S. P.; MORENO, E. I. E MARTINS, M. G. **Especificação Técnica e Sistêmica da Plataforma IPTV/TV Digital.** São Leopoldo - RS, Brasil, 2010.
- GREENHALGH, D.; MARSHALL, S. **Convergence Criteria for Genetic Algorithms.** SIAM Journal on Computing, v. 30, p. 269–282, 2000.

IBGE. Pesquisa Nacional por amostra de domicílio - **Acesso à internet e posse de telefone móvel celular para uso pessoal**, 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/acessointernet2011/default.shtm>> Acesso em 22 de abr. 2015.

ITU-T, G. S. ITU-T Rec. H.264 (11/2007) **Advanced video coding for generic audiovisual services**. p. 1–564, 2008.

JANEVSKI, T.; VESELINOVSKA, B. **State of the art in IPTV**. n. May, p. 531–536, 2014.

JEONG, S. H. ; PARK, S. **Mobile IPTV: Approaches, challenges, standards, and QoS support**. *IEEE Internet Computing*, v. 13, n. June, p. 23–31, 2009.

KOUMARAS, H.; KOURTIS, A.; MARTAKOS, D. **Evaluation of video quality based on objectively estimated metric**. *Journal of Communications and Networks*, v. 7, n. 3, p. 235–241, 2005.

KUTIISHI, S. M.; PICCOLO, G.; SCHIBELSKY, L. **Provas de conceito de aplicações para TV digital interativa com o propósito de promover a inclusão digital no Brasil ***. p. 7–17, 2006.

MARTINS, F. **Uma abordagem para a solução de problemas de rotações de tripulações para empresas aéreas utilizando busca tabu e janelas de tempo**. 2007.

MIYAZAWA, F. K. **Problemas de Escalonamento de Tarefas em Computadores**. Disponível em: <<http://www.ic.unicamp.br/~fkm/problems/escalonamento.html>>. Acesso em: 12 abr. 2015.

MOUSTAFA, H.; SIDDIQUI, F.; ZEADALLY, S. **Internet protocol television (IPTV): Architecture, trends, and challenges**. *IEEE Systems Journal*, v. 5, n. 4, p. 518–527, 2011.

PACHECO, M. A. C. **Algoritmos genéticos: princípios e aplicações**. ICA: Laboratório de Inteligência Computacional Aplicada -, p. 9, 1999.

PPLive. **The Most Popular Net TV in the World**. Disponível em: <<http://www.pptv.com/>>. Acesso em: 28 out. 2015.

QIU, D. **On the QoS of IPTV and its effects on home networks**. 2008 5th IEEE Consumer Communications and Networking Conference, CCNC 2008, v. 2010, p. 834–838, 2008.

SIMPSON, B. W. et al. **IPTV and Internet Video**, Second Edition Technology, 2009.

TALBI, E. G. **Metaheuristics: From Design to Implementation**, 2009.

TANOMARU, J. **Motivação, fundamentos e aplicações de algoritmos genéticos**. Anais do II Congresso Brasileiro de Redes Neurais, 1995.

WEISSHEIMER, C. A. J. Desenvolvimento de um algoritmo híbrido utilizando metaheurísticas aplicado a uma plataforma Internet Protocol Television - IPTV. 2012.

YASAKETHU, S. L. P. et al. A Rate Control Technique for Off Line H . 264 / AVC Video Coding Using Subjective Quality of Video. p. 1465–1472, 2008.