

SIMULADOR DE METAHEURISTICAS HIBRIDO APLICADO AO CODEC DE VÍDEO H.264 DA TV DIGITAL BRASILEIRA

Arthur Tórgo Gómez

Universidade do Vale do Rio dos Sinos
Av. Unisinos, 950 – Cristo Rei / CEP 93.022-000 – São Leopoldo – RS - Brasil
breno@unisinos.br

Iris Corrêa das Chagas Linck

Universidade do Vale do Rio dos Sinos
Av. Unisinos, 950 – Cristo Rei / CEP 93.022-000 – São Leopoldo – RS - Brasil
Linck.iris@gmail.com

RESUMO

Este trabalho é focado na busca de políticas de configuração de parâmetros do codificador de vídeo H.264/AVC para o Sistema Brasileiro de TV Digital (SBTVD). Para isso, é proposto um algoritmo híbrido que trata este problema como sendo um problema de otimização combinatória conhecido como Problema de Seleção de Partes que é classificado como NP-Difícil. O algoritmo proposto, denominado Simulador de Metaheurísticas aplicado a um CODEC (SMC), usa duas metaheurísticas: Busca Tabu e Algoritmo Genético. Os parâmetros de configuração a serem otimizados são: *bitrate*, *frame rate*, parâmetros de quantização para quadros tipo B, P e I e a quantidade de *slices* tipo B dentro em um GOP (Group of Pictures). O SMC analisa o comportamento dessas variáveis com o objetivo de poder configurá-las da melhor forma possível e assim alcançar uma melhor compressão de vídeo e uma boa qualidade de imagem.

PALAVARAS CHAVE. Algoritmo Genético, Busca tabu, CODEC H.264/AVC.

TEL&SI - PO em Telecomunicações e Sistemas de Informações
MH - Metaheurísticas

ABSTRACT

This work is focused on looking for policy of the configuration parameters of the H.264/AVC video encoder for the Brazilian Digital Television System (BDTS). For this, it is propose a hybrid algorithm that treats this problem as a combinatorial optimization problem known as Selection Problem of Parties that are classified as NP-Hard. The proposed algorithm, called Simulator Metaheuristics applied to a CODEC (SMC) uses two metaheuristics: Tabu Search and Genetic Algorithm. The configuration parameters to be optimized are: bit rate, frame rate; quantization parameters for B-frames, P-frames and type I-frames, number of B slices within a GOP (*Group of Pictures*). The SMC algorithm analyses the behavior of these variables in order to be able to set them up as best as possible and so achieve a better video compression and a good quality image.

KEYWORDS. Genetic Algorithm. Tabu Search. H.264 CODEC.

1. Introdução

Nos últimos anos a demanda por produtos de vídeo digital tem testemunhado uma explosão. Alguns exemplos de aplicações populares que utilizam vídeo digital são comunicação de vídeo, segurança e vigilância, automação industrial, e a maior de todas que é a indústria do entretenimento, que inclui DVD, HD TV, internet, câmeras digitais, monitores de vídeo de alta definição (LCD, Plasma, etc.) e muitos outros. Para poder manipular estes vídeos para que possam ser transmitidos com eficiência é necessário geralmente fazer a compressão do vídeo, que tem como objetivo a redução do número de bits necessários para representar um vídeo digital sem que se tenha perda de informações significativas para a representação do vídeo. Isto é feito através da exploração de uma propriedade existente nas sequências de vídeo: a redundância, que faz com que grande parte dos dados necessários para representar um vídeo digital seja supérflua. Algoritmos para compressão e descompressão de vídeo denominados CODECs, têm sido continuamente aprimorados durante a última década para atender a demanda do mercado (Golston e Rao, 2006).

O governo brasileiro adotou como padrão de codificação de vídeo para o Sistema Brasileiro de TV Digital - SBTVD (ABNT NBR 15601:2008; ABNT NBR 15602-1:2008), o padrão H.264/MPEG-4 AVC, também conhecido como H.264. Este padrão contém inúmeros parâmetros de configuração que o deixam com alta flexibilidade e afetam enormemente o seu desempenho. Devido a isso, um codificador H.264 configurado inadequadamente pode apresentar um desempenho muito inferior à sua real capacidade. Considerando a diversidade de conteúdos a serem transmitidos (telejornalismo, filmes, programas esportivos, etc.), a escolha adequada desses parâmetros se torna ainda mais crítica, pois, devido às suas características, esses conteúdos em geral requerem configurações de codificador e complexidades computacionais bastante distintas para uma mesma qualidade de vídeo pré-definida (IME et al., 2010).

Este trabalho apresenta um algoritmo híbrido (Glover et al., 1995) composto por duas meta-heurísticas, Busca Tabu (Glover, 1986) e Algoritmo Genético (Holland, 1975), denominado Simulador de Metaheurísticas aplicado a um CODEC (SMC) cujo principal objetivo é encontrar a melhor configuração de parâmetros do CODEC de vídeo H.264 com o objetivo de melhorar seu desempenho e a qualidade da imagem codificada por ele. São considerados neste estudo seis parâmetros de configuração diretamente relacionados ao codec H.264 o qual é o padrão adotado pelo Sistema Brasileiro de TV Digital. O codec do SBTVD foi desenvolvido pelo projeto DigConv (Unisinos, 2008). Os parâmetros estudados foram: *bit rate* (BR), *frame rate* (FR), parâmetros de quantização de *frames* tipo I (QI), *frames* tipo P (QP) e *frames* tipo B (QB) e número de *frames* tipo B (PF) dentro de um GOP (*Group of Picture*). Para isso foi feito um estudo da dinâmica de comportamento entre os parâmetros estudados a fim de descobrir um padrão de comportamento entre eles.

O H.264/MPEG-4 AVC apresenta um desempenho largamente superior aos seus antecessores como MPEG-2, H.263 e MPEG-4 parte 2. Essa melhoria de desempenho é alcançada graças ao emprego de técnicas mais sofisticadas que requerem maior custo computacional, por isso a escolha dos parâmetros utilizados no processo de codificação/decodificação de vídeo é essencial para o seu bom desempenho, pensando nisso, foi feito um estudo da dinâmica de comportamento entre os parâmetros estudados a fim de descobrir um padrão de comportamento entre eles.

Dentro deste contexto, vários autores tem proposto algoritmos para otimizar a performance do CODEC de vídeo H.264 (Yasakethu et al., 2008; Cermak et al., 2011; Huang et al., 2006; Nemethova et al., 2004; Correia e Pereira, 2003). Para avaliar o desempenho e a qualidade da imagem produzida por esses algoritmos são usadas métricas objetivas e subjetivas (Sikora, 2005; Zhang et al., 2003; Moriyoshi et al., 2000; Malvar et al., 2003; ITU-R, 2002).

A intratabilidade do problema via software somado ao enorme interesse comercial que reside neste padrão, têm impulsionado equipes de pesquisa e desenvolvimento ao redor do mundo a tratarem deste tema visando otimizações algorítmicas e implementações em hardware para que os requisitos das aplicações sejam atendidos.

Este artigo encontra-se organizado da seguinte forma: na seção 1 é feita a introdução, na seção 2 é apresentada a arquitetura sistêmica do modelo, na seção 3 é dada a formulação matemática do

modelo proposto, na seção 4 é descrito o funcionamento do modelo computacional híbrido proposto, na seção 5 são descritos os experimentos e resultados obtidos e por fim na seção 6 são apresentadas as conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

2. Arquitetura Sistêmica do SMC

A arquitetura sistêmica do SMC é mostrada na Figura 1. Essa é a arquitetura do CODEC de vídeo H.264 da TV Digital Brasileira desenvolvido pelo projeto DigConv (Unisinos, 2008). Sobre esses módulos é que os parâmetros otimizados pelo SMC atuarão. O decodificador de Vídeo não é tratado nesse modelo.

Basicamente um codificador de vídeo de um sistema de TV digital é usado para reduzir o *bit rate* requerido para se fazer uma transmissão do sinal de vídeo (CPqD, 2006). Baseado neste princípio, o CODEC deve ter um bom desempenho, deve produzir uma sequência de vídeo com uma relativa taxa de distorção que seja adequada, isto é, minimizar o *bit rate* para um fator de qualidade específico ou minimizar a distorção para um determinado *bit rate*.

Nesta arquitetura temos como entrada um vídeo no padrão YUV 4:2:0 (ITU-T, 2007) que será codificado pelo CODEC H.264/AVC do Sistema Brasileiro de TV Digital (SBTVD). Este vídeo pode ser de três formatos específicos: i) HD (*High Definition*), ii) SD (*Standard Definition*), iii) LD (*Low Definition*). O CODEC H.264 suporta segmentação de figuras no formato de quadros ou *slices* que são formados por macroblocos (Wenger, 2003)(ITU-T, 2007). O módulo de partição do macrobloco, representado na Figura 1 pelo Módulo MB, é encarregado de converter os *slices* de vídeo em estruturas de macroblocos (MB) e estes são considerados as unidades básicas de codificação de vídeo.

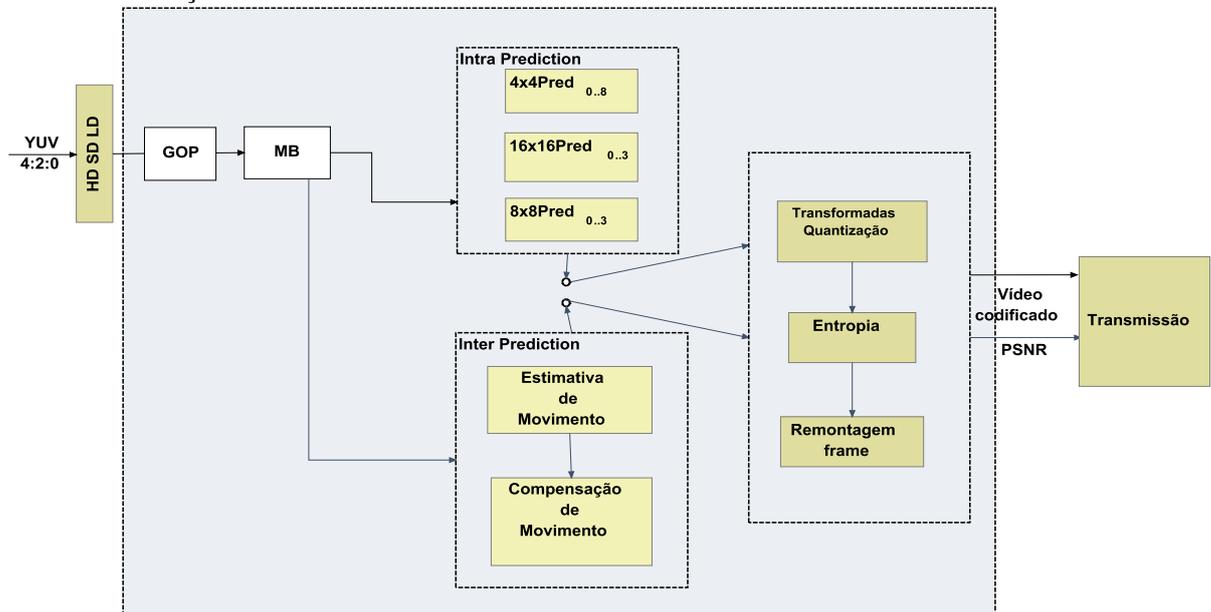


Figura 1: Arquitetura Sistêmica do SMC

O módulo *Intra Prediction* é acionado para macroblocos tipo I (intra). Ele é responsável pela redução da redundância espacial da imagem. O CODEC H.264 oferece um rico conjunto de padrões para serem usados neste módulo. Existem 9 modos de predição para macroblocos no formato 4x4 e 4 modos para o formato 16x16 (ITU-T, 2007)(Kim et al., 2003).

O módulo *Inter Prediction* tem como principal função eliminar a redundância temporal e recebe como entrada MBs do tipo P ou B, que podem ser particionados em até 259 partições/subpartições diferentes. Neste módulo serão realizadas as etapas de Estimativa de Movimento e Compensação de Movimento. Nessas duas etapas são encontrados um dos processos mais custosos em termos de processamento, que consiste em fazer uma busca na região em torno de um MB em todos os quadros de referência, para determinar o vetor de movimento que minimiza o erro residual (dada uma determinada métrica). Quanto maior a região de busca e

em quanto mais quadros de referência se procurar, melhor será o resultado, porém com um custo computacional maior, o resultado é um Vetor de Movimento e um bloco residual.

A Estimação de Movimento consiste em procurar, no quadro de referência, um bloco mais semelhante possível ao bloco atual, através do processo de interpolação. Ele utiliza comparação entre blocos vizinhos para encontrar o mais parecido. Após encontrar o bloco do frame de referência que mais se parece com o atual, ele passa para a Compensação de Movimento criar os vetores de movimento.

Na etapa de Compensação de Movimento, após escolhido o bloco de predição, este é subtraído do bloco atual, para se obter um bloco residual ($\text{BlocoRes} = \text{BlocoAtual} - \text{BlocoRef}$). É calculada a diferença de posição entre o bloco de referência e o bloco atual, o que resulta em um vetor de movimento.

O CODEC H.264 do projeto DigConv (Unisinos, 2008) permite que sejam parametrizados individualmente os parâmetros de quantização de frames I, P e B, que chamaremos de QI, QP e QB respectivamente. Esses parâmetros atuam diretamente no módulo de Transformadas e Quantização do CODEC. Contudo, é válido ressaltar que a maior parte da distorção é resultante do processo de quantização e conseqüentemente controlada pelo valor do parâmetro de quantização.

O módulo de Transformada e Quantização são processos complementares. Uma transformada matemática baseada em cossenos realiza a transformada dos pixels após o processo de predição (inter ou intra). Esta transformação se baseia em uma compactação dos dados que possui reversão (modo de recuperar os dados originais). As transformações utilizadas são baseadas em DCT (Transformada Discreta de Cosseno) e na transformada Hadamard.

Para o processo de quantização, são necessários o bloco de entrada e os valores de QI, QP e QB, que são os fatores que equilibram a relação qualidade de imagem por compressão. Na quantização é que efetivamente se troca qualidade por taxa. Quanto maior a quantização, mais bits se perdem, portanto, maior é a degradação da imagem. O padrão H.264 prevê 3 diferentes quantizações, uma que age sobre os coeficientes AC do macrobloco em quadros I ou sobre o macrobloco completo em quadros do tipo P ou B. As outras duas trabalham com os coeficientes DC de macroblocos codificados pela *Intra Prediction* (para amostras Luma e Croma).

O processo de codificação por entropia tem como entrada MBs quantizados provenientes do módulo de quantização e que serão codificados usando os métodos de codificação CABAC e CAVLC, já o processo de remontagem de *frame* constrói a *stream* MPEG-4 que será empacotada e enviada pelo meio de transmissão. Como saída desses processos temos o vídeo codificado e o PSNR (Peak Signal to Noise Ratio), considerada a métrica objetiva de qualidade de vídeo mais amplamente utilizada.

3. Formulação Matemática do Modelo

A Equação (1) representa uma métrica objetiva que avalia a qualidade de vídeo de um CODEC H.264/AVC. Quanto maior o valor da FO, maior será a qualidade do vídeo codificado.

As variáveis de decisão consideradas estão a seguir listadas:

$FR_{n,f}$ = *frame rate* para o nível n do padrão H.264 e formato f de um vídeo;

$BR_{n,p}$ = *bit rate* para o nível n e perfil p do padrão H.264;

QI = parâmetro de quantização de *frames* tipo I;

QP = parâmetro de quantização de *frames* tipo P;

QB = parâmetro de quantização de *frames* tipo B;

PF = quantidade de *frames* tipo B em um GOP;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6$ representam pesos que traduzem a contribuição das variáveis de decisão na função objetivo;

Os índices vinculados as variáveis de decisão BR e FR são:

f = formato do vídeo;

p = perfil do padrão H.264;

n = nível do padrão H.264.

Segue a formulação matemática do modelo:

Função Objetivo:

$$\text{Max FO} = \alpha_1 BR_{n,p} + \alpha_2 FR_{n,f} + \alpha_3 \frac{1}{QI} + \alpha_4 \frac{1}{QP} + \alpha_5 \frac{1}{QB} + \alpha_6 \frac{1}{PF} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$0 < QI \leq 51 \quad (2)$$

$$0 < QP \leq 51 \quad (3)$$

$$0 < QB \leq 51 \quad (4)$$

$$0 \leq PF \leq 8 \quad (5)$$

$$64 \leq BR_{n,p} \leq 300000 \quad (6)$$

$$7,6 \leq FR_{n,f} \leq 172 \quad (7)$$

$$\alpha_1 > 0 \quad (8)$$

$$\alpha_2 > 0 \quad (9)$$

$$\alpha_3 > 0 \quad (10)$$

$$\alpha_4 > 0 \quad (11)$$

$$\alpha_5 > 0 \quad (12)$$

$$\alpha_6 > 0 \quad (12)$$

4. Modelo Computacional Híbrido do SMC

Uma arquitetura híbrida é uma combinação de técnicas usada para se obter melhores resultados. Neste caso serão usadas as metaheurísticas Busca Tabu (BT) e Algoritmo Genético (AG) para compor a arquitetura do modelo computacional do SMC que é mostrada na figura 2. As pesquisas estão se voltando ao uso de técnicas híbridas, como em Burk et al (1998, 2001a), pois elas têm apresentado melhores resultados, visto que exploram as vantagens de cada método aplicado.

O modelo computacional proposto na Figura 2 tem como finalidade encontrar dentro de um espaço de busca, a melhor configuração de parâmetros para o codec H.264 e que vão atuar sobre a arquitetura sistêmica mostrada na Figura 1. A ideia principal é que as duas metaheurísticas, BT e AG trabalhem em conjunto para encontrar uma solução ótima para o problema de configuração de parâmetros do codec H.264/AVC do SBTVD.

A arquitetura híbrida do SMC é composta por 4 módulos: módulo que recebe a solução inicial e configura o modelo para trabalhar em um nível e perfil específico do padrão H.264 para um formato de vídeo especificado; módulo da Busca Tabu, módulo do Algoritmo Genético e o módulo do CODEC H.264.

Primeiramente é fornecido para o modelo uma solução inicial viável, S_0 , e um vídeo com determinado número de frames no formato YUV 2:2:0. Esta solução é composta pelos parâmetros de configuração do H.264 estudados.

O módulo da Busca Tabu vai operar sobre o conjunto de parâmetros do CODEC H.264 que fazem parte da solução inicial S_0 a fim de obter um conjunto das melhores soluções viáveis, chamadas soluções de elite e que correspondem às soluções que apresentaram a melhor função objetivo. A BT utiliza como função objetivo a equação (1). A quantidade de soluções de elite geradas pela BT é de no máximo 20. Caso a BT atinja o valor do nbmax sem contudo ter gerado 20 soluções então essas soluções são repassadas em menor quantidade ao Algoritmo Genético que vai dar a elas um tratamento específico. O módulo de geração de vizinhança da BT vai gerar 50 vizinhos que são gerados de forma aleatória porém dentro de seus ranges de valores específicos e de acordo com a norma do codec H.264 (ITU-T, 2007).

A BT utiliza uma lista tabu composta por no máximo sete movimentos tabu. Essa lista guarda uma solução completa, ou seja, os valores de todos os parâmetros que fazem parte de uma mesma solução, fazendo com que essa solução seja considerada um movimento tabu.

O módulo de critério de aspiração da BT prevê que será aceito um movimento, mesmo que tabu, se ele melhorar o valor da função objetivo global. O critério de parada utilizado pela BT é o nbmax de tamanho igual a 100. Quando a BT atinge seu critério de parada então ela passa o controle para o Algoritmo Genético (AG) e envia a ele o conjunto de soluções de elite.

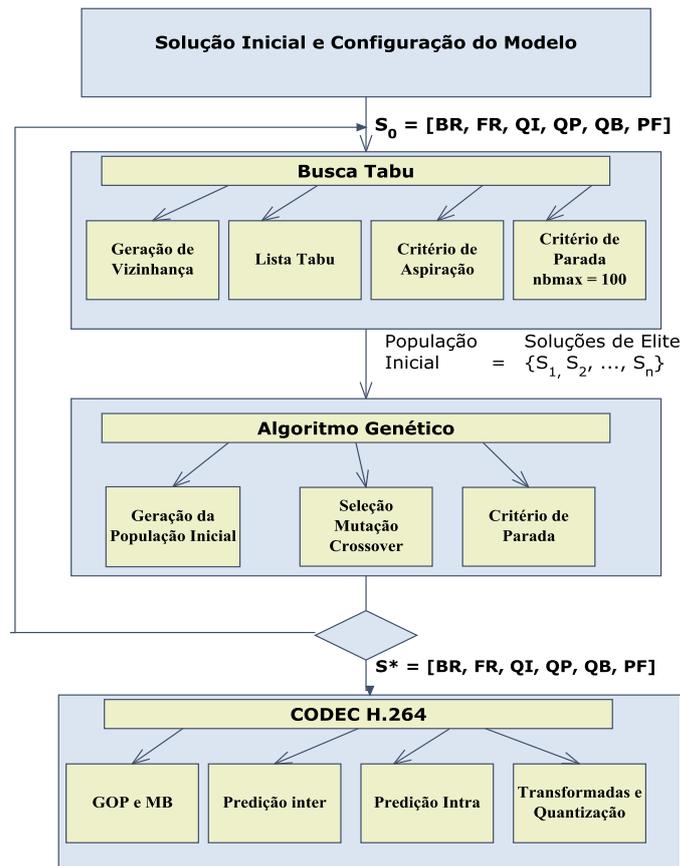


Figura 2: Modelo computacional do algoritmo SMC

O módulo Algoritmo Genético (AG) recebe como entrada o conjunto de soluções de elite geradas pela BT para ser sua população inicial. Caso a BT tenha enviado ao AG uma quantidade de soluções de elite menor que 20, então o AG complementa sua população inicial utilizando uma geração aleatória de indivíduos. O AG utiliza como função fitness a equação (1). Esta função avalia o grau de aptidão de um indivíduo da população, neste caso, quanto maior o fitness, melhor a qualidade da solução encontrada. O cromossomo é representado pelo conjunto dos seis parâmetros estudados. O AG utiliza as seguintes configurações: seleção por torneio, cruzamento com taxa de 0,8 e mutação com taxa de 0,2. O critério de parada é o número de gerações igual a 100.

Quando o AG atinge seu número de gerações o modelo SMC compara se houve uma melhora na função *fitness* em relação a melhor função objetivo da BT, caso tenha havido essa melhora então o SMC aciona novamente a BT passando para ela como solução inicial a melhor função *fitness* encontrada pelo AG. Caso não tenha havido melhora então o SMC termina a execução do algoritmo e adota a função objetivo da BT como sendo a melhor solução encontrada pelo modelo que é chamada de S^* e esta será usada nas configurações do CODEC H.264.

5. Experimentos

Nos experimentos utilizou-se uma solução inicial viável obtida pela JIGA de testes do projeto DigConv (Unisinos, 2007). Esta solução pertence a um vídeo do tipo QCIF (176 x 144) no formato YUV 2:2:0. A equipe do projeto DigConv obteve esta solução através da configuração manual do codec H.264 da SBTVD e sua qualidade foi medida pelo PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*), (Winkler and Mohandas, 2008). Os valores da solução inicial foram: BR=64 Kbps; FR=30.3 fps; QI=16; QP=16; QB=18; PF=1. As faixas de valores adotadas para

cada um dos parâmetros considerados pelo modelo encontram-se na Tabela 1.

Foram feitos dois experimentos usando o algoritmo SMC a fim de analisar o comportamento dos parâmetros descritos na Tabela 1 de modo que se pudesse verificar se eles estavam de acordo com a dinâmica do codec H.264 descritos na literatura.

No primeiro experimento foram somados 20 unidades ao peso do parâmetro BR enquanto que os pesos dos demais parâmetros permaneceram com seus valores originais. Após isso o SMC foi executado 300 vezes onde a cada 30 execuções foi calculado um valor médio para cada variável de decisão da Função objetivo. Esses valores podem ser vistos na Tabela 2. Este processo foi feito exaustivamente adicionando sempre 20 unidades ao peso de BR até que este atingisse o valor de 200 unidades, lembrando que a cada mudança no valor do peso de BR, o SMC foi executado 300 vezes. Este experimento foi feito para todos os pesos das variáveis de decisão da função objetivo do modelo proposto. Ao todo o SMC foi executado 1.800 vezes.

O objetivo deste primeiro experimento é avaliar o comportamento dos valores médios assumidos pelas variáveis de decisão quando uma dessas variáveis tem seu peso incrementado de forma periódica enquanto que as demais variáveis permanecem com seus pesos originais.

Tabela 1: Tabela de faixa de valores dos parâmetros H.264 adotados nos experimentos.

Parâmetro	Faixa de Valores
BR (<i>Bitrate</i>)	64 a 300.000 (Kbps)
FR (<i>Frame rate</i>)	7,6 a 172 (fps)
QI – Parâmetro de quantização de <i>frame I</i>	1 a 51
QP – Parâmetro de quantização de <i>frame P</i>	1 a 51
QB – Parâmetro de quantização de <i>frame B</i>	1 a 51
PF – Número <i>frames B</i> em um GOP (<i>Group of pictures</i>)	0 a 8

No segundo experimento o peso da variável de decisão BR foi desprezado, ou seja, teve seu peso igualado a zero enquanto que as outras variáveis permaneceram com seus pesos originais. Partindo desta configuração, o SMC foi executado 300 vezes onde a cada 30 execuções calculou-se novamente uma média dos valores assumidos pelas demais variáveis de decisão, que são mostrados na Tabela 4 e foi observado o comportamento das demais variáveis de decisão quando a função objetivo não sofre a influência de BR. Este experimento foi feito para todas as variáveis de decisão da função objetivo do modelo.

5.1 Resultados do Primeiro Experimento

Na figura 3 são mostrados 3 gráficos sobre os resultados obtidos no primeiro experimento quando BR teve seu peso intensificado. O gráfico 1 mostra o comportamento das variáveis de decisão QI, QB, QP e PF. O gráfico 2 mostra as curvas de comportamentos da função objetivo e de BR. O gráfico 3 mostra o comportamento de BR e FR.

A Tabela 2 mostra os valores médios, obtidos no primeiro experimento, das variáveis de decisão e da função objetivo (OF), enquanto que na Tabela 3 são apresentados os desvios padrões dos valores apresentados na Tabela 2.

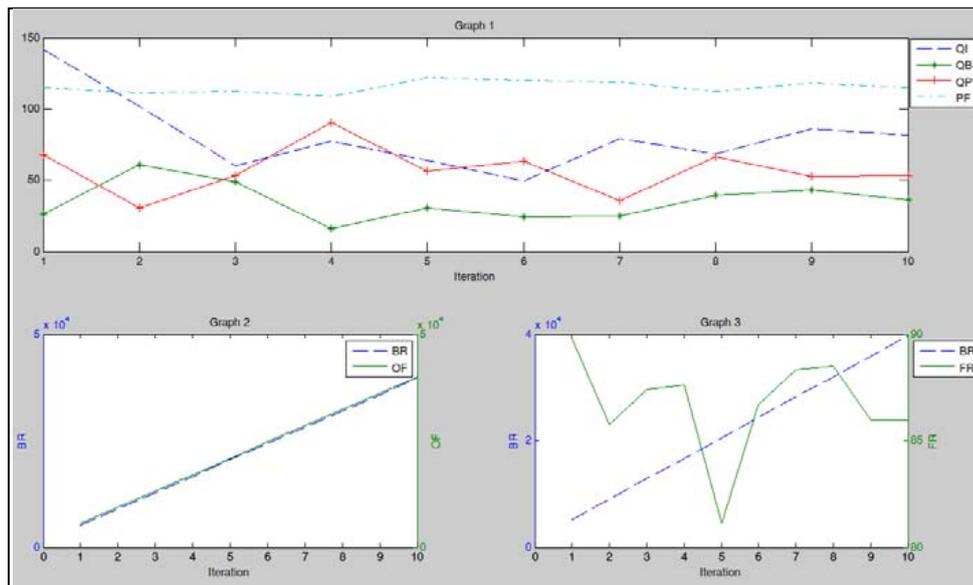


Figura 3: Gráficos do primeiro experimento quando intensificado o peso de BR.

Na Tabela 2 cada linha corresponde à média dos valores encontrados pelo SMC a cada 30 execuções sendo esses valores médios utilizados na construção dos gráficos apresentados na Figura 3. Os valores em destaque nessa tabela correspondem ao valores mínimos e máximos que cada variável de decisão alcançou durante as execuções do algoritmo SMC.

Tabela 2: Valores médios encontrados no experimento 1 considerando a intensificação de BR.

Iteration	AV OF	AV BR	AV FR	AV QI	AV QP	AV QB	AV PF
1	5580.45	5139.68	89.81	141.51	67.86	26.36	115.22
2	9378.80	8988.41	85.76	101.93	30.41	60.87	111.43
3	13195.66	12833.40	87.41	60.09	53.45	48.80	112.51
4	17031.71	16651.97	87.61	76.91	90.46	16.32	108.44
5	20866.86	20512.54	81.14	63.86	56.50	30.82	122.00
6	24695.78	24351.64	86.70	49.59	63.49	24.39	119.97
7	28539.86	28193.17	88.32	79.10	35.43	24.89	118.95
8	32411.56	32036.43	88.50	68.14	66.48	39.50	112.51
9	36240.54	35854.89	85.97	86.01	52.71	43.02	117.93
10	40081.34	39709.56	85.96	81.31	53.10	36.53	114.88

Pode-se observar no gráfico 1 da Figura 3 que os comportamentos de QB e QP tendem a ser inversamente proporcionais e que PF tem uma influência direta sobre QB, isto significa que quanto mais frames B (PF) tivermos em um GOP, maior será a compressão que o vídeo vai sofrer (QB aumenta). Embora isso acarrete em perda na qualidade da imagem, o algoritmo SMC tenta melhorar a qualidade do vídeo diminuindo o parâmetro de quantização de frames P (QP). Sabendo que frames P são frames de referência para frames B isso contribui para uma melhor qualidade de imagem. De acordo com a literatura (Yasakethu et al., 2008), parâmetros de quantização, que neste experimento são representados por QP, QB e QI, influenciam a quantidade de detalhe espacial de um vídeo. Por exemplo, quando temos um baixo valor para esses parâmetros muito da informação da imagem do vídeo é salva e consequentemente teremos uma melhor qualidade de imagem. Por outro lado, quando os valores são altos, muito dessa informação é descartada o que gera uma baixa qualidade da imagem.

Na Tabela 2, correspondente ao primeiro experimento, podemos observar que QP, QI e QB ficam em uma faixa de valores menores se comparados aos valores alcançados no segundo experimento mostrados na Tabela 4. Isso ocorre porque como podemos observar no gráfico 2 da Figura 3, no primeiro experimento BR está em constante crescimento devido ao seu peso estar sendo intensificado o que leva a diminuir os valores dessas variáveis, uma vez que elas são

inversamente proporcionais em relação a BR, quando se trata em alcançar uma melhor qualidade de imagem. De acordo com a literatura (Yasakethu et al., 2008 ; Kim et al., 2006) os parâmetros de quantização influenciam o *bitrate* e vice-versa.

O gráfico 2 da Figura 3 mostra que à medida que o *bit rate* aumenta, o valor da função objetivo também aumenta o que leva a uma melhor qualidade de imagem. Contudo, de acordo com a literatura (Koumaras et al., 2005) o vídeo não sofre significativas melhoras em sua qualidade de imagem quando o *bit rate* está acima de um limiar específico.

Tabela 3: Valores dos desvios padrões referentes à Tabela 2.

Iteration	σ OF	σ BR	σ FR	σ QI	σ QP	σ QB	σ PF
1	85.21	39.10	13.25	125.13	89.13	50.33	20.91
2	69.28	41.22	14.34	111.98	47.29	80.10	28.25
3	63.96	30.60	12.27	83.08	68.59	67.28	24.89
4	45.81	51.35	11.38	96.17	89.88	35.79	27.92
5	63.91	24.77	19.01	78.61	84.27	55.13	0.00
6	54.92	28.53	11.11	82.19	68.21	44.17	11.14
7	60.42	26.64	11.68	92.81	56.42	41.74	16.71
8	77.93	17.79	7.68	88.33	86.42	55.55	24.89
9	82.80	40.93	11.92	95.15	63.11	69.37	15.48
10	83.85	34.20	9.79	99.23	71.43	61.13	22.20

O gráfico 3, da Figura 3 mostra que à medida que BR aumenta, FR tende a sofrer flutuações em seus valores para em seguida estabilizar-se. Segundo a literatura (Ries et al., 2007), o *frame rate* (FR) pode aumentar ou diminuir em relação ao *bitrate* (BR) devido ao tipo de conteúdo do vídeo. Ries et al. (2005) afirma que vídeo panorâmicos recebem uma melhor pontuação em relação à qualidade de vídeo quando o *frame rate* diminui. Por outro lado, vídeos dinâmicos são mais bem avaliados quando o *bit rate* e o *frame rate* aumentam em conjunto.

Pode-se observar na tabela 3 que as variáveis de decisão PF e FR alcançaram um baixo desvio padrão o que evidencia que o algoritmo SMC explorou um espaço de busca menor, enquanto que as outras variáveis de decisão obtiveram um desvio padrão mais alto evidenciando que o SMC explorou um espaço de busca maior.

5.1 Resultados do Segundo Experimento

Na figura 4 são mostrados 2 gráficos sobre os resultados obtidos no segundo experimento, quando BR teve seu peso anulado (igual a zero) dentro da função objetivo. O gráfico 1 mostra os comportamentos das variáveis de decisão QI, QB, QP e PF. O gráfico 2 mostra o comportamento da função objetivo (OF) e do FR.

As variáveis de decisão obtiveram os mesmos comportamentos observados no primeiro experimento, exceto que os valores dos parâmetros de quantização QI, QP e QB no segundo experimento (Tabela 2) tiveram um aumento se comparados aos valores que eles obtiveram no primeiro experimento (Tabela 4). Isso ocorreu devido ao *bitrate* (BR) não ter sido considerado na função objetivo do modelo. Com isso, podemos observar que o *bitrate* influencia os limites dessas variáveis de decisão (Kim et al., 2005).

No gráfico 2 da Figura 4 são mostradas as curvas do comportamento da função objetivo e do *frame rate*. Observa-se que a função objetivo tende a sofrer uma flutuação em seus valores até a iteração 7 para em seguida se estabilizar em valores menores do que aqueles obtidos no primeiro experimento. Portanto, chega-se à conclusão de que quando o *bit rate* não é considerado o valor da função objetivo tende a diminuir o que significa uma menor qualidade de imagem.

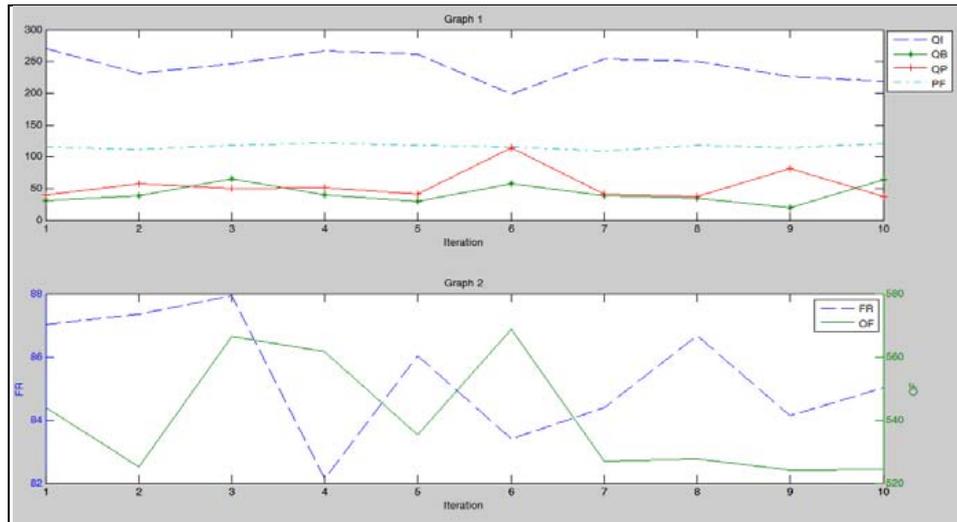


Figura 4: Gráficos do segundo experimento quando BR foi desconsiderado na função objetivo.

Foi observado neste segundo experimento que o *bit rate* é uma variável de decisão muito significativa na função objetivo, ou seja, quando ele é considerado, como no primeiro experimento, ela tende a aumentar o que leva a uma melhor qualidade de imagem, e quando não é considerado, como no segundo experimento, ela tende a diminuir. Nota-se que BR também influencia nos parâmetros de quantização, pois quando ele não é levado em conta esses parâmetros ficam livres para assumir valores maiores o que leva a uma pior qualidade na imagem.

No gráfico 2 da Figura 4 observa-se que FR tende a sofrer uma flutuação em seus valores porque BR não foi considerado na função objetivo o que leva a crer que BR exerce uma influência direta sobre FR.

Tabela 4: Valores médios encontrados no experimento 2 considerando a anulação de BR.

Iteration	AV OF	AV BR	AV FR	AV QI	AV QP	AV QB	AV PF
1	543.94	0.00	87.03	270.46	39.65	30.91	115.90
2	525.29	0.00	87.36	230.70	57.09	38.31	111.83
3	566.52	0.00	87.93	245.95	49.45	65.26	117.93
4	561.73	0.00	82.14	266.50	51.15	39.93	122.00
5	535.39	0.00	86.05	261.62	40.42	29.36	117.93
6	568.79	0.00	83.41	198.08	113.94	57.46	115.90
7	526.99	0.00	84.40	253.52	40.98	38.48	109.60
8	527.69	0.00	86.66	250.48	37.70	34.91	117.93
9	524.27	0.00	84.15	226.81	80.85	19.01	113.46
10	524.51	0.00	85.03	218.64	37.73	63.14	119.97

6. Conclusão

Foi apresentado um novo algoritmo híbrido denominado Simulador de Metaheurísticas aplicado a um CODEC (SMC) que utiliza a Busca Tabu em combinação com o Algoritmo Genético com o objetivo de estudar o comportamento de seis dos principais parâmetros de configuração do CODEC de vídeo H.264/AVC. Os parâmetros estudados foram: *bitrate*; *frame rate*; parâmetros de quantização para quadros tipo B, P e I; e quantidade de quadros tipo B dentro em um GOP. O algoritmo proposto busca a melhor configuração desses parâmetros no intuito de poder configurar o CODEC H.264/AVC do Sistema de Televisão digital Brasileiro e assim alcançar uma melhora na qualidade da imagem de um vídeo codificado neste padrão.

O modelo proposto foi validado, através dos padrões de comportamento dos parâmetros encontrados na literatura e mostrou-se bastante eficiente segundo os experimentos, onde foi observado que o algoritmo SMC sempre tenta compensar a perda da qualidade da imagem, devido a um valor de um determinado parâmetro, pela busca de uma qualidade melhor através do

valor de outro parâmetro, tentando assim, fazer uma compensação das perdas de qualidade de imagem para se alcançar um equilíbrio.

O algoritmo SMC provou ser robusto e confiável e sua execução completa dentro de um ciclo de 300 execuções levou o tempo de 4 minutos. Seu código foi construído na linguagem C ANSI e todos os experimentos foram feitos em uma máquina com processador Intel Dual Core.

Como trabalhos futuros é possível aprimorar o modelo acrescentando outras variáveis decisão que influencie diretamente na qualidade da imagem, como por exemplo, a quantidade de partições de um macrobloco, a dinâmica de um vídeo, a quantidade de frames de referência a serem considerados, dentre outros.

Referências

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 15602-1**, 2008. Digital Terrestrial Television – video coding, audio coding and multiplexing. Part 1: video coding. Rio de Janeiro.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15601**, 2008. Televisão digital terrestre – Sistema de transmissão. Rio de Janeiro.
- Cermak, G., Pinson M. and Wolf, S.**, 2011. The relationship among video quality, screen resolution, and bit rate. *IEEE transactions on broadcasting*, v. 30(2).
- Correia , P. L., Pereira, F.**, 2003. Objective evaluation of video segmentation. *IEEE Transaction on image processing*, vol. 12, no. 2.
- Glover, F., Kelly, P. J., Laguna, M.**, 1995. Genetic algorithm and Tabu Search: Hybrids for optimization. *Computers Ops Res.*, vol. 22, no. 1, pp. 111–134.
- Golston, J., Rao, A.**, 2006. Video codecs tutorial: Trade-offs with H.264, VC-1 and other advanced codecs. *Embedded Systems Conference Silicon Valley*.
- Holland, J. H.**, 1975. Adaptation in natural and artificial systems. Ann Arbor. MI: University of Michigan Press.
- Huang, Y.-W et al.**, 2006. Analysis and complexity reduction of multiple reference frames motion estimation in H.264/AVC. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, v. 16 (4).
- IME, UERJ, UFRJ, UnB**, 2010. Projeto H.264 – SETUP. Linhas Mestras para Operação e Configuração de Sistemas Compressão de Vídeo para o SBTVD
- ITU-R**, 2002. Recommendation ITU-R BT.500-11: Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures. Swiss.
- ITU-T**, 2007. ITU-T Recommendation H.264. Advanced video coding for generic audiovisual services.
- Kim, C., Shih, H.-H., Kuo, C.-C. J.**, 2006. Fast H.264 intra prediction mode selection using joint spatial and transform domain features. *Journal of Visual Communication & Image Representation*, v. 17, p. 291-310.
- Koumaras, H., Kourtis, A., Martakos, D.**, 2005. Evaluation of video quality based on objectively estimated metric. *Journal of Communications and Networks*, Vol.7, No.3
- Malvar, H.S., Hallapuro, A., Karczewicz, M., Kerofsky, L.**, 2003. Low-complexity transform and quantization in H.264/AVC. *IEEE transaction on Circuits and Systems for video technology*, vol. 13, pp. 598–603.
- Moriyoshi, T., Shinohara, H., Miyakazi, T., Kuroda, I.**, 2000. Real-time software video codec with a fast adaptive motion vector search. *Journal of VLSI Signal Processing*, vol. 29, pp. 239–245.
- Nemethova, O., Ries, M., Siffel, E., Rupp, M.**, 2004. Quality Assessment for H.264 Coded Low-Rate and low-Resolution Video Sequences. *Proc. of Conf. on Internet and Inf. Technologies (CIIT)*, St. Thomas, US Virgin Islands, pp. 136-140
- Ries, M., Nemethova, O. and Rupp, M.**, 2007. Performance evaluation of video quality estimators. In *Proc. European Signal Processing Conference EUSIPCO*, pp. 159-163.
- Ries, M., Nemethova, O., Rupp, M.**, 2005. Reference-Free Video Quality Metric for Mobile Streaming Applications. In *Proc. of the DSPCS 05 & WITSP 05*, pp. 98-103, Sunshine Coast,

Australia.

Sikora, T., 2005. Trend and Perspectives in Image and Video Coding. *Proceedings of IEEE*, vol. 93.

Unisinos, 2008. Especificação de Software CODEC – Codificação e Decodificação de Sinais Fonte.

Wenger, S., 2003. H.264/AVC over IP. *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, v. 13, p. 645-656.

Winkler, S.; Mohandas, P., 2008. The evolution of video quality measurement: from PSNR to hybrid metrics. *IEEE Transactions on Broadcasting*, pp. 660 – 668.

Yasakethu, S. L. P., Fernando, W. A. C., Adedoyin, S., and Kondo, A., 2008. A rate control technique for off line H.264/AVC video coding using subjective quality of video. *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 54, no. 3, pp. 1465–1473

Zhang, J., He, Y., Yang, S., Zhong, Y., 2003. Performance and complexity joint optimization for H.264 video coding. *ISCAS'03*, vol. 2, pp. 888–891.