

Aplicação do Codificador H.264 na Transmissão de Vídeos de Subestações

Regelii Suassuna de Andrade Ferreira, Carlos Danilo Miranda Regis, Francisco Madeiro, Marcelo Portela Souza, José Caetano Pugliese Guimarães, Francisco José Rocha de Santana e Waslon Terllizzie Araújo Lopes

Resumo – Este trabalho consiste no estudo de parâmetros de codificação de vídeos com o objetivo de implantar o algoritmo de codificação de vídeos H.264 num sistema para operação remota de subestações. O objetivo geral do Projeto de P&D é a concepção de um sistema (hardware e software) capaz de transmitir vídeos utilizando canais de baixa taxa existentes em subestações. Com os vídeos codificados torna-se o sistema mais eficiente e sendo possível a transmissão de maneira mais rápida. Resultados de simulações mostram que os vídeos codificados com o padrão H.264 apresentam, uma alta taxa de compressão e boa qualidade de imagem, o que torna o padrão adequado para este trabalho.

Palavras-chave – codificação; H.264; x264, transmissão de vídeos.

I. INTRODUÇÃO

As concessionárias de energia elétrica necessitam realizar o monitoramento dos equipamentos, subestações e linhas de transmissão. A partir desse monitoramento é possível que as concessionárias controlem os equipamentos com o auxílio de sensores e dispositivos inteligentes [1].

Uma forma de monitoramento das subestações é por meio do uso de imagens. Essas imagens são obtidas por meio de câmeras que em locais nos quais os operadores não podem estar, devido as altas tensões aplicadas nos equipamentos de uma subestação. Além disso, existem subestações em que a presença dos operadores e técnicos não se dá de forma ininterrupta.

Um problema encontrado para a utilização das câmeras em subestações é o canal para transmissão dos vídeos. Alguns canais são baseados em rádios digitais com baixa taxa de transmissão (ex: 9,6 kbits/s ou 19,2 kbits/s), o que torna impossível a transmissão dos vídeos em tempo real. Uma solução para este problema é a transmissão dos vídeos apenas quando há movimentação ou quando pedido pelo operador.

Esta solução tem sido muito utilizada mas ainda não é suficiente para termos uma transmissão em tempo real. Assim o uso de codificadores de vídeo surgem como uma

forma de melhorar a transmissão dos vídeos.

A codificação é um processo de compactação de uma sequência de vídeo digital em um número menor de *bits*, buscando principalmente a compressão do vídeo, diminuindo os custos de transmissão e armazenamento do mesmo [2].

O padrão de codificação implementado foi o H.264. A partir desse padrão foram estudadas algumas características do padrão por meio de testes feitos com vídeos obtidos a partir do Sistema de Vigilância de Vídeo Digital GeoVision. Este trabalho está inserido no Projeto de P&D 0047-023/2009: Cabeça de Série do Sistema de Operação Remota de Subestações Auxiliada pelas Imagens dos Equipamentos que está sendo desenvolvido pela Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (Coelba) em conjunto com o Instituto de Estudos Avançados em Comunicações (Iecom) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

II. CODIFICAÇÃO DE VÍDEOS

Uma das principais características da codificação de vídeo é a modificação das propriedades do vídeo para torná-lo mais apropriado a uma aplicação específica [2]. Mesmo com os constantes avanços na capacidade de armazenamento e transmissão, a codificação é um componente essencial nos serviços de multimídia.

A codificação envolve um par complementar de elementos, um codificador e um decodificador. O codificador converte os dados de origem em um formato compactado ocupando um número reduzido de *bits*, antes da transmissão ou do armazenamento, e o decodificador converte o formato compactado de volta em uma representação dos dados do vídeo original [3].

Esse processo pode ou não gerar perda de informações no vídeo. Métodos de codificação sem perdas atingem um baixo nível de compressão, então a maioria das técnicas são baseadas em perdas de informações. Parte dessa perda é aplicada em dados pouco relevantes, como por exemplo, redundâncias ou detalhes sutis que não são percebidos pelo olho humano.

Existem diversos padrões de codificação, cada um possui um método específico, gerando diferenças entre os vídeos resultantes. Estas diferenças estão principalmente na taxa de *bits*, na qualidade e na latência. Procura-se então uma codificação que resulte em uma relação entre a qualidade do vídeo codificado e a quantidade de *bits*. Entre os vários padrões de codificação destaca-se o H.264/AVC, que utiliza várias técnicas para otimizar o descarte de redundâncias e codificar os resíduos da melhor maneira possível [3].

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do VI Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (VI CITENEL), realizado em Fortaleza/CE, no período de 17 a 19 de agosto de 2011.

R. S. A. Ferreira, C. D. M. Regis, M. P. Sousa, F. Madeiro e W. T. A. Lopes trabalham no Instituto de Estudos Avançados em Comunicações da Universidade Federal de Campina Grande – IECOM/UFCG (e-mails: {regelii, danilo, marposou, madeiro, waslon}@iecom.org.br).

F. J. R. Santana e J. C. P. Guimarães trabalham na Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia – Coelba (e-mails: fsantana@coelba.com.br e cpugliese@coelba.com.br).

III. O PADRÃO H.264

O padrão ITU-T H.264/MPEG-4 (Parte 10) *Advanced Video Coding* (também conhecido como H.264/AVC) foi desenvolvido pelo consórcio JVT (*Joint Video Team*) formado por especialistas do *Video Coding Experts Group* (VCEG) do ITU-T e do *Motion Picture Expert Group* (MPEG) do ISO/IEC. O H.264 é um método e um formato para compressão de vídeo [3].

Esse padrão possui uma série de vantagens em relação a seus antecessores (MPEG-1, MPEG-2 e H.263), com respeito às etapas de predição, transformação e codificação [2]. Semelhantemente aos padrões anteriores, o padrão H.264/AVC não define explicitamente um CODEC (CODer/DECoder – Codificador/Decodificador). Na documentação é definida a sintaxe de uma sequência de *bits* com informação de vídeo codificado e os métodos de decodificação dessa sequência de *bits*.

Para um CODEC H.264/AVC os elementos funcionais básicos (predição, transformação, quantização e codificação de entropia, descritos na Figura 1) são sensivelmente diferentes dos demais padrões anteriores, essas mudanças garantem os ganhos em eficiência de codificação alcançados pelo padrão.

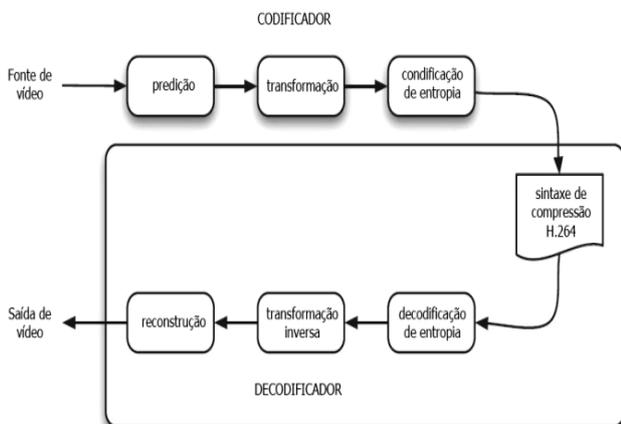


Figura 1. Representação dos processos de codificação e decodificação.

A. Processo de codificação

Um codificador de vídeo H.264 realiza predição, transformação e processos de codificação para produzir um fluxo de *bits* comprimido no formato H.264.

Predição: o codificador faz uma predição do macrobloco atual com base em dados previamente codificados, podendo ser do tipo *intra* ou *inter*.

A predição *intra* consiste em criar valores residuais a partir de predições realizadas por meio de amostras do mesmo quadro, enquanto a predição *inter* consiste em estimar os valores dos blocos de um quadro baseados nos valores dos blocos de quadros previamente codificados.

Os métodos de predição suportados pelo H.264 são mais flexíveis do que os dos padrões anteriores, permitindo predições precisas e compressão de vídeo eficiente. A predição *intra* usa blocos com tamanhos de 16×16 *pixels* e 4×4 *pixels* para prever o macrobloco em volta. A predição

inter usa uma variedade de tamanhos de bloco (de 16×16 *pixels* até 4×4 *pixels*) para prever *pixels* no quadro atual de regiões similares em quadros anteriormente codificados. A Figura 2 ilustra o processo de predição.

Transformação e quantização: um bloco de amostras residual é transformado utilizando a Transformada Discreta de Cosseno (DCT - *Discrete Cosine Transform*) [6]. A transformação resulta em um conjunto de coeficientes que quando combinados recriam o bloco de amostras residual. Depois da transformação é realizada a etapa de quantização. A quantização reduz a precisão dos coeficientes de transformação de acordo com um parâmetro de quantização (QP). Normalmente, o resultado é um bloco no qual a maioria ou todos os coeficientes são zeros.

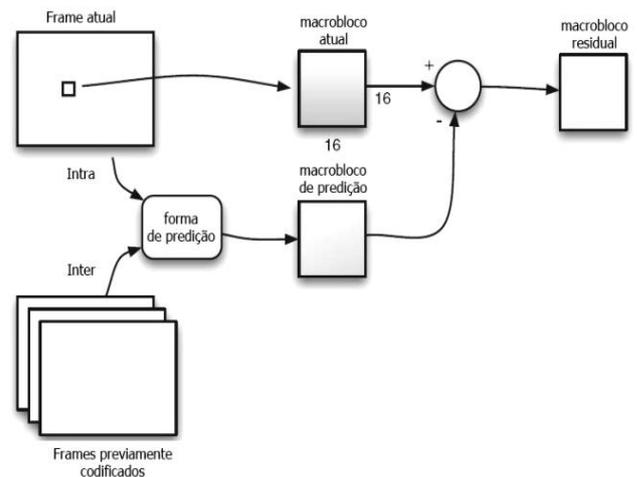


Figura 2. Diagrama de predição.

Configurar o QP para um valor alto significa que mais coeficientes serão zeros, resultando em alta compressão à custa de uma qualidade da imagem decodificada baixa. Configurando o QP para um valor baixo significa que mais coeficientes serão não nulos após a quantização, resultando em melhor qualidade de imagem decodificada, mas menor compressão.

Codificação de fluxo de *bits*: o processo de codificação de vídeo produz uma série de valores que deve ser codificado para formar o fluxo comprimido de *bits*. Estes valores e parâmetros (elementos de sintaxe) são convertidos em códigos binários usando codificação de comprimento variável e/ou codificação aritmética.

B. Processo de decodificação

Um decodificador de vídeo H.264 realiza os processos complementares de decodificação, transformação inversa e reconstrução para produzir uma sequência de vídeo decodificada.

A decodificação do fluxo de *bits*: um decodificador de vídeo recebe o fluxo de *bits* comprimido no formato H.264, decodifica cada um dos elementos de sintaxe e extrai as informações descritas anteriormente. Estas informações são então usadas para reverter o processo de codificação e recriar a sequência de imagens do vídeo.

Redimensionamento e transformação inversa: os coeficientes quantizados e transformados são redimensionados, cada coeficiente é multiplicado por um

valor inteiro para recuperar a sua dimensão original, é importante notar que uma vez que a informação é removida durante a quantização a mesma não pode ser recuperada quando os coeficientes são redimensionados.

Uma transformação inversa combina os padrões de base, ponderados pelos coeficientes redimensionados, para recriar cada bloco de dados residual, esses blocos são combinados para formar um macrobloco residual. Esse processo é ilustrado na Figura 3.

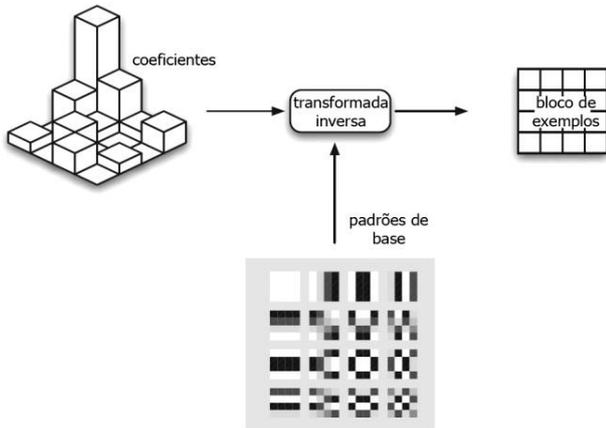


Figura 3. Diagrama de transformada inversa.

Reconstrução: para cada macrobloco, o decodificador realiza uma predição idêntica à que foi criada pelo codificador. O decodificador acrescenta a predição ao macrobloco residual decodificado para construir um macrobloco decodificado, este pode ser exibido como parte de um quadro do vídeo. A reconstrução é ilustrada na Figura 4.

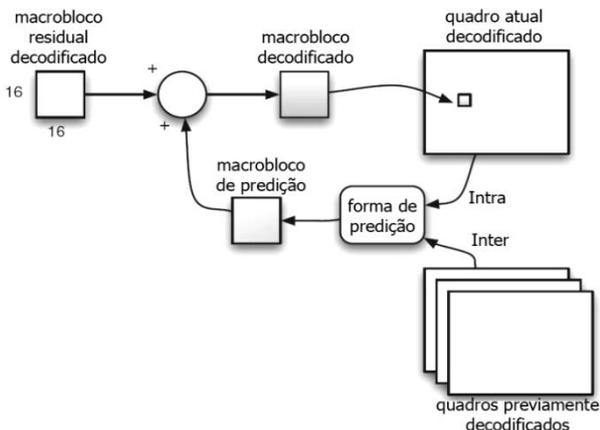


Figura 4. Diagrama de reconstrução.

C. Perfis e níveis do H.264

Um codificador tem uma considerável flexibilidade na escolha e utilização das ferramentas definidas no seu padrão. Por outro lado um decodificador pode ser capaz de operar apenas com um conjunto muito limitado de ferramentas, por exemplo, se é apenas necessário decodificar o fluxo de *bits* que usa um subconjunto das ferramentas.

Os perfis são restrições sobre as capacidades exigidas por um decodificador em relação ao subconjunto de ferramentas.

Um fluxo de *bits* no formato H.264 que está de acordo

com um perfil específico pode conter apenas vídeo codificado de acordo com algumas ou todas as ferramentas dentro do perfil, um decodificador compatível com perfil deve ser capaz de decodificar com todas as ferramentas do perfil.

O padrão H.264 é composto por 6 perfis que são resumidamente descritos a seguir.

Main Profile: é o mais utilizado, com ferramentas que oferecem um bom compromisso entre desempenho de compressão e complexidade computacional. originalmente concebido como o perfil do consumidor geral, para aplicações de *broadcast* e armazenamento, a importância desse perfil desapareceu quando o perfil *High Profile* foi desenvolvido para essas aplicações. É usado para transmissões de definição padrão de TV digital.

O *constrained baseline profile* (perfil linha de base restrito) é um subconjunto do *main profile* e é popular devido à baixa complexidade (utilizado em aplicações de vídeo móvel).

Baseline Profile: foi planejado para ser apropriado à baixa complexidade, aplicações de baixo atraso, como transmissão de vídeo de conversação ou vídeo móvel.

High Profile: é o principal perfil direcionado para armazenamento de disco e aplicações de transmissão, especialmente para vídeos com alta definição. Este é o perfil adotado pelo formato de armazenamento *Blu-ray Disc* e pelo serviço de transmissão de HDTV.

High Profile 10: indo além das capacidades do consumidor geral, esse perfil foi construído com base no *High Profile*, adicionando suporte para até 10 *bits* por amostra de precisão da imagem decodificada.

A quantidade de dados que um decodificador pode trabalhar é limitado pela velocidade de processamento e capacidade de memória.

Um nível H.264 especifica um limite máximo para o tamanho do quadro, a taxa de processamento (número de quadros ou blocos que podem ser decodificados por segundo) e memória de trabalho necessário para decodificar uma sequência de vídeo.

Um decodificador particular pode decodificar fluxos de *bits* no formato H.264 até uma certa combinação de perfis e de níveis. A Tabela I lista os limites citados que cada nível impõe aos perfis.

D. Compressão de quadros

Dependendo do perfil do H.264, diferentes tipos de quadros podem ser usados por um codificador, por exemplo, o *baseline profile* utiliza apenas quadros I (intra) e P (preditivo). Por sua vez, os perfis *main profile* e *high profile* utilizam quadros I, P e B (bidirecional) [4].

Um quadro I, ou quadro de predição intra, é um quadro de autocontrole que pode ser decodificado independentemente, sem qualquer referência a outras imagens. A primeira imagem em uma sequência de vídeo é sempre um quadro I. Os quadros I são necessários como pontos de partida para

Tabela I. Limites máximos para os vários níveis.

Nível	Limite máximo de macroblocos por segundo	Tamanho máximo do quadro (em quantidade de macroblocos)	Limite máximo de bitrate de vídeo para <i>baseline</i> e <i>main profiles</i>	Limite máximo de bitrate de vídeo para <i>high profile</i>
1	1485	99	64 kbit/s	80 kbit/s
1b	1485	99	128 kbit/s	160 kbit/s
1.1	3000	396	192 kbit/s	240 kbit/s
1.2	6000	396	384 kbit/s	480 kbit/s
1.3	11880	396	768 kbit/s	960 kbit/s
2	11880	396	2 Mbit/s	2,5 Mbit/s
2.1	19800	792	4 Mbit/s	5 Mbit/s
2.2	20250	1620	4 Mbit/s	5 Mbit/s
3	40500	1620	10 Mbit/s	12,5 Mbit/s
3.1	108000	3600	14 Mbit/s	17,5 Mbit/s
3.2	216000	5120	20 Mbit/s	25 Mbit/s
4	245760	8192	20 Mbit/s	25 Mbit/s
4.1	245760	8192	50 Mbit/s	50 Mbit/s
4.2	522240	8704	50 Mbit/s	50 Mbit/s
5	589824	22080	135 Mbit/s	168,75 Mbit/s
5.1	983040	36864	240 Mbit/s	300 Mbit/s

novos visualizadores ou pontos de resincronização, se o fluxo de *bits* transmitidos for danificado. Os quadros I podem ser usados para implementar avanço rápido, retrocesso e outras funções de acesso aleatório. Um codificador inserirá automaticamente quadros I em intervalos regulares ou mediante solicitação [4].

Um quadro P, quadro de predição inter, faz referências a partes de quadros I e/ou P anteriores para codificar o quadro. Os quadros P geralmente exigem menos *bits* do que quadros I, mas uma desvantagem é que eles são muito sensíveis a erros de transmissão, devido à dependência complexa de quadros de referência P e I anteriores [9].

Um quadro B, ou quadro inter bi preditivo, é um quadro que faz referências a um quadro de referência anterior e um quadro futuro [4].

O H.264 permite que quadros P e B tenham várias referências, ou seja, em vez de se referir apenas ao quadro anterior, podem referir-se a até 16 quadros anteriores. Consequentemente, não se pode iniciar a decodificação em qualquer quadro I, porque um dos quadros P ou B após o quadro I pode se referir a alguns quadros I antes deste.

Existe também um tipo especial de quadro I no formato H.264, o quadro IDR, garantindo que qualquer quadro posterior ao quadro IDR não se refere a quadros anteriores ao quadro IDR.

O propósito de fazer múltiplas referências, desabilitar os quadros IDR ou minimizar sua quantidade, é melhorar a compressibilidade do vídeo codificado. Tendo mais quadros de referência disponíveis para o codificador, os quadros P e B podem ser previsto com maior precisão e o resíduo vai custar menos *bits* para ser possível. da melhor maneira possível.

IV. O CODIFICADOR X264

O x264 é um software para implementação do padrão H.264/AVC que está disponível no endereço eletrônico: <http://x264.nl/> [5]. Este é um software de código livre que utiliza uma biblioteca gratuita para codificação de sequências de vídeo digital.

O x264 gera como saída vídeos em diferentes formatos: *Raw bytestream* (.264), *Matroska* (.mkv), *Flash Vídeo* (.flv) e *MP4* (.mp4). Neste trabalho foi utilizado o formato *MP4*.

O x264 é utilizado pelo *prompt* de comando do sistema operacional *Microsoft Windows* (podendo também ser utilizado em outros sistemas operacionais) seguindo a sintaxe: *x264 [options] -o outfile infile*. Para mais informações sobre o x264 pode ser consultado o menu de ajuda através do comando *x264 --help*. Um exemplo de como foi utilizado o software é exibido abaixo.

```
x264 -B 1000 --ratetol 0.1 --fps 30 -o video01.mp4 video01.avi
```

Neste exemplo utilizou-se para a codificação uma taxa de *bits* de 1000 kbit/s, com desvio de 0.1% dessa taxa e uma taxa de quadros de 30 frames/s.

A. Perfis de codificação

O x264 não define um padrão de perfil para a codificação, podendo o mesmo ser configurado através do parâmetro *--profile*.

A definição de um perfil é suficiente para a codificação, não sendo necessárias outras configurações. Às vezes pode ser desejável definir também um nível para o perfil, a fim de tornar a codificação mais direcionada. É recomendado que um perfil seja definido apenas quando sabemos que o dispositivo de reprodução suporta somente aquele perfil, como a maioria dos decodificadores possui suporte para o

High Profile não há necessidade de configurar o mesmo.

Estão disponíveis para configuração no x264 os perfis *Baseline Profile*, *Main Profile*, *High Profile* e *High Profile 10*.

B. Níveis

A configuração de níveis no x264 define um conjunto específico de restrições para o perfil utilizado, os níveis disponíveis para codificação são: 1, 1.1, 1.2, 1.3, 2, 2.1, 2.2, 3, 3.1, 3.2, 4, 4.1, 4.2, 5 e 5.1, descritos na Tabela I. Se o usuário não especificar um nível o x264 vai tentar detectá-lo automaticamente, essa detecção pode subestimar o nível. Pode se configurar o nível desejado para codificação através do comando `--level`.

Não é recomendado que o nível seja configurado, a menos que a codificação seja direcionada para um dispositivo específico.

C. Perfis de codificação

No x264, a taxa de *bits* não é por padrão configurada. Codificar o vídeo na taxa de *bits* desejada significa que o tamanho final do vídeo é conhecido, mas sua qualidade não. O x264 tenta codificar o vídeo para atingir em média a taxa de *bits* proposta. Pode se configurar a taxa de *bits* alterando o parâmetro `-B`.

D. Ratetol

O *ratetol* é por padrão configurado em 1.0, ou seja, 1%. Essa configuração controla a porcentagem que o x264 pode se desviar da taxa de *bits* média. A menor configuração possível é de 0.01. Quanto mais alta for esta configuração, melhor o x264 pode codificar vídeos com cenas complexas. Pode se configurar o *ratetol* alterando o parâmetro `--ratetol`.

E. Open GOP

Na codificação com *open GOP* habilitado é permitido que o quadro B de um GOP (*Group of Pictures*) faça referência a um quadro P ou I de um GOP adjacente, quando é utilizado o *closed GOP*, ou seja, desabilitar o *open GOP*, tem-se GOPs que não dependem de quadros de outros. A Figura 5 ilustra a técnica *open GOP*.

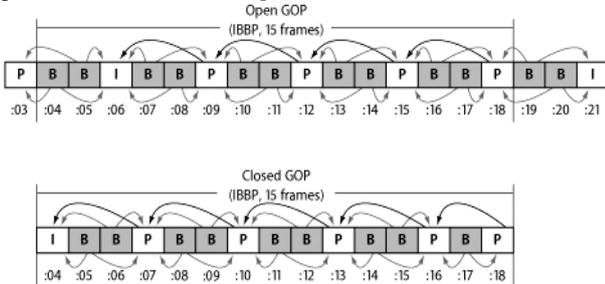


Figura 5. Esquemas de codificação com *open GOP* habilitado e desabilitado (*closed GOP*).

Existem três modos de configuração de GOP utilizados no x264: *none* - *open GOP* desabilitado (*closed GOP*); *normal* - *open GOP* habilitado; *bluray* - *open GOP* habilitado em uma versão menos eficiente do *open GOP* normal.

Apesar de ser uma técnica de codificação bastante eficiente, alguns decodificadores não possuem total suporte à mesma, razão pela qual esta não é por padrão habilitado no

x264. Pode se configurar o *open GOP* alterando o parâmetro `--open-gop`.

V. TESTES REALIZADOS

Os testes seguintes foram feitos analisando as características do padrão de codificação H.264 com o objetivo de encontrar os melhores parâmetros (quantidade de *bits* e qualidade do vídeo) para a transmissão de vídeos de subestações.

A. Padrões de codificação

As câmeras utilizadas tem o software Geovision para a captura da imagem. Esse software permite gravar os vídeos com diferentes codificadores sendo elas: Wavelet [8-9], MPEG4 [13], Geo MPEG4 (codificação do GeoVision baseada em métodos do MPEG4), Geo MPEG4 (ASP) (codificação do GeoVision baseada em métodos do MPEG4 ASP - Advanced Simple Profile) e Geo H.264 (codificação do GeoVision baseada em métodos de codificação H.264).

Para comparar tais métodos foram feitas gravações em todos eles e foi gerado o vídeo H.264 pelo software x264 a partir de um dos vídeos obtidos pelo sistema GeoVision, na codificação MPEG4. Os vídeos utilizados neste estudo diferem entre si de apenas alguns décimos de segundos, tendo então aproximadamente a mesma duração e mesmo ambiente, assim podemos comparar melhor seus tamanhos e sua qualidade. Também é comparado a esses vídeos o vídeo codificado com o padrão H.264 a partir do codificador x264. A Figura 6 apresenta um gráfico com os tamanhos dos arquivos relacionados com suas codificações.

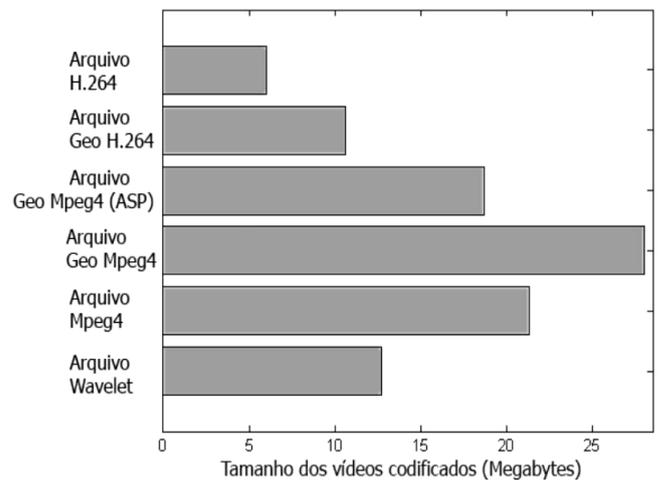


Figura 6. Relação entre vídeos com a mesma duração em diferentes codificações.

Pode ser visto por meio do gráfico da Figura 6 que os arquivos codificados com o padrão H.264, tanto aquele obtido utilizando o software x264 quanto o obtido no sistema GeoVision, têm os menores tamanhos entre os outros com quem são comparados, a diferença entre esses arquivos codificados ambos em H.264 pode ser dada devido ao sistema GeoVision adicionar criptografia aos vídeos codificados pelo mesmo, dessa maneira o tamanho do arquivo aumenta, isso pode ser visto também comparando os vídeos codificados em MPEG4 e GeoMPEG4.

Pode ser analisada também a qualidade dos vídeos estudados a partir de quadros retirados de cada um deles.

Esses quadros são mostrados na Figura 7.



(a) Mpeg4.



(b) Wavelet.



(c) Geo Mpeg4.



(d) Geo Mpeg4 (ASP).



(e) Geo H.264.



(f) H.264.

Figura 7. Quadros de vídeos.

Os vários métodos de codificação utilizados geraram vídeos com algumas diferenças, isso ocorre devido às configurações que cada método utiliza na codificação, mas nenhuma dessas diferenças é significativa para o olho humano.

O gráfico apresentado na Figura 8 apresenta o tamanho dos vídeos antes e após a codificação para H.264. Foram utilizados 9 vídeos codificados inicialmente no formato

AVI codificados a taxa de 100 kbits/s, *ratetol* de 0.1%, taxa de quadros padrão. Por sua vez, o arquivo codificados em H.264 utilizaram o software x264. Cumpre mencionar que o formato padrão de codificação do GeoVision é o MPEG4.

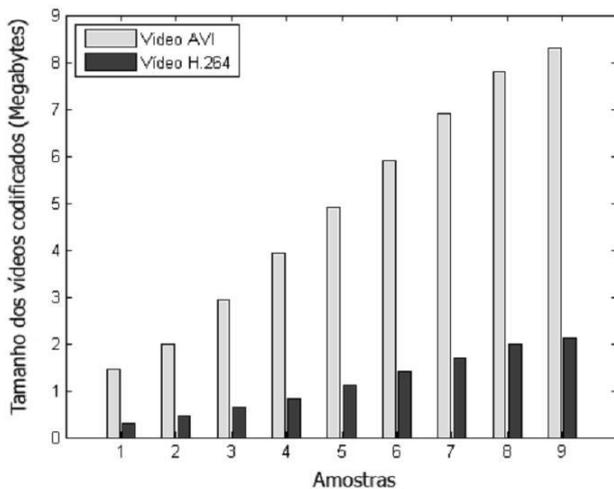


Figura 8. Gráfico comparativo entre vídeos codificados.

Fazendo uma análise porcentual do tamanho do vídeo codificado em relação ao tamanho do vídeo original, temos que esta varia de 20% a 26%. Calculando a média das porcentagens obtidas para as amostras do gráfico, pode ser observado que em média o vídeo codificado com o padrão H.264 possui 23% do tamanho do vídeo original. É visto também por meio do gráfico que quanto maior o tamanho do vídeo utilizado na codificação melhor será a sua redução.

B. Variação da taxa de bits

Sabendo que ao alterarmos a taxa de *bits* do vídeo sua qualidade pode ser comprometida, a variação da taxa de *bits* busca um equilíbrio entre a qualidade e o tamanho do vídeo codificado. Neste estudo a taxa de *bits* foi reduzida discretamente a valores cada vez menores até que a qualidade o vídeo fosse comprometida e então a taxa de trabalho seria aquela que mostrou razoável qualidade de visualização.

Os vídeos foram codificados em várias taxas de *bits*: 1000 kbit/s, 768 kbit/s, 480 kbit/s, 384 kbit/s, 240 kbit/s, 192 kbit/s, 128 kbit/s e 96 kbit/s, para todas as taxas foi utilizada *ratetol* de 0.1 e taxa de quadros padrão.

A partir de uma análise subjetiva dos vídeos foi percebido que aqueles com maiores taxa de *bits*, ou seja aqueles com 1000 kbit/s, 768 kbit/s até 480 kbit/s, não apresentaram grande variação de qualidade entre eles, em uma visualização com zoom de 100% todos eles apresentaram boa qualidade. Quando a visualização passa a ser de 200% o vídeo com taxa de 428 kbit/s apresentou degradação.

Os vídeos com taxa de *bits* intermediárias, ou seja aqueles com 384 kbit/s até 240 kbit/s, em uma visualização com zoom de 100% se apresentaram poucas ou mínimas degradações, sua qualidade não foi muito comprometida, no entanto se avaliamos os mesmos com um zoom de 200% percebe-se, principalmente no menor deles (240 kbit/s), que apresentam algumas degradações que comprometeram um pouco a qualidade do vídeo. Para os vídeos com menores taxas de *bits*, aqueles com 192 kbit/s, 128 kbit/s até 96 kbit/s, a partir de uma visualização com zoom de 100% podemos perceber

algumas degradações no vídeo, quando ampliamos o mesmo para um zoom de 200% os borrões se intensificam, em alguns desses vídeos a identificação de objetos no mesmo pode ser comprometida, ou seja, a qualidade foi comprometida em um grau elevado.

C. Variação do perfil de codificação

Como já descrito o x264 possui as opções de configuração de perfil disponíveis *baseline profile*, *main profile*, *high profile* e *high profile 10*, e estes perfis ainda podem ser combinados com os vários níveis disponíveis.

Os vídeos utilizados neste estudo foram codificados em todas as combinações possíveis de perfil e nível disponíveis. Ao codificarmos os vídeos configurando apenas o parâmetro do perfil, o x264 configurou o nível para 1.3 em todos os perfis para o mesmo vídeo. O *baseline profile* apresentou um arquivo com tamanho maior dentre os outros, o que é esperado, pois o mesmo possui menor complexidade de codificação. O *main profile*, o *high profile* e o *high profile 10* apresentaram arquivos com tamanhos levemente diferentes, sendo o *main profile* o vídeo com menor tamanho entre eles.

Quanto à qualidade dos vídeos, a partir de análises subjetivas, notou-se que o *high profile*, o *high profile 10* e o *main profile* apresentam pouca perda de qualidade, apesar de o *high profile* e o *high profile 10* não apresentaram diferença significativa de tamanho e qualidade. Estes, apresentam uma qualidade um pouco superior quando avaliamos o vídeo com um zoom de 200%.

Entre os perfis, o *baseline profile* apresentou algumas degradações e quadros na sua visualização com zoom de 200% o que fez com que o vídeo perdesse qualidade, embora quando avaliado com zoom de 100% tenha apresentado qualidade igual à dos demais perfis.

Quando configurado o perfil e o nível notamos que, para todos os perfis, o nível 1 obteve um arquivo codificado com tamanho maior entre os outros níveis avaliados que obtiveram tamanhos iguais em cada perfil. Quanto à qualidade, a mesma foi mantida se comparada com a codificação feita quando configuramos apenas o perfil de codificação.

Avaliando as configurações testadas separadamente temos que a taxa de *bits* de 240 kbit/s apresentou qualidade razoável para tal compressão; o *high profile* apresentou-se como uma das melhores soluções de perfil de codificação; e que seu nível pode ser selecionado pelo x264, o que não afeta a qualidade do mesmo. Embora a taxa de 192 kbit/s tenha apresentado baixa qualidade a mesma pode ser considerada se forem implementados junto a ela outros parâmetros de codificação. Codificar os vídeos com taxa de *bits* de 192 kbit/s, selecionando o perfil de codificação para *high profile* e habilitando *Open GOP* leva a qualidade do mesmo a ficar melhor, podendo ser agora utilizada para a finalidade, pois deixa de comprometer a boa visualização dos vídeos.

VI. CONCLUSÕES

A codificação de vídeos no padrão H.264 foi proposta

com o objetivo de obter vídeos com tamanhos reduzidos para que estes fossem transmitidos de maneira mais eficiente. Este trabalho apresenta os resultados obtidos de alguns testes realizados com o padrão H.264.

Os resultados demonstraram que o padrão H.264 possui uma boa relação entre a qualidade dos vídeos codificados e o seu tamanho. Para manter uma boa qualidade a taxa de bits pode ser configurada em 192 kbit/s com um perfil de codificação *high profile* e *Open GOP* habilitado.

Em função da flexibilidade na determinação dos parâmetros do algoritmo H.264, pode-se ainda diminuir a taxa de codificação se uma pequena queda na qualidade dos vídeos for permitida.

Atualmente, o projeto encontra-se na fase de projeto de hardware que vai embarcar o algoritmo de compressão H.264 no sistema cabeça-de-série para transmissão de vídeos de subestações.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. S. Yabiku, D. Fischer, H. K. Hiyohara, L. C. Magrini, M. Masuda e M. G. M. Jardini, "Sistema de Vídeo-Monitoramento e Controle de Subestações com transmissão via TCP-IP," Pesquisa de Desenvolvimento CTEEP, São Paulo, 2006.
- [2] E. T. M. Manoel, "Codificação de Vídeo H.264 - Estudo de Codificação Mista de Macrobloco," Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 2007.
- [3] I. E. G. Richardson, *The H.264 Advanced Video Compression Standard*. Wiley, 2003.
- [4] I. E. G. Richardson, *H.264 and MPEG-4 Video Compression*. WILEY, 2003.
- [5] x264 Blu-ray Disc, Disponível em: <http://x264.nl/>.
- [6] M. R. A. Morais, "Codificação de Imagem e Vídeo com Casamento Parcial de Padrões em Transformadas de Bloco". Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2004.
- [7] O. T.-C. Chen, B. J. Sheu and W.-C. Fang, "Image Compression Using Self-Organization Networks". *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 4, No. 5, pp. 480-489, October 1994.
- [8] "Special Issue on Wavelet Transforms and Multiresolution Signal Analysis". *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 38, No. 2, April 1996.
- [9] G. M. Ferreira, W. T. A. Lopes e F. M. Assis, "Codificação Wavelet Aplicada a Sistemas com Diversidade Espacial sobre Canais Sujeitos ao Desvanecimento Rayleigh". XVIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBrT'2000), Gramado/RS, Brasil, Setembro 2000.
- [10] G. K. Wallace, "The JPEG Still Picture Compression Standard". *Communications of the ACM*, Vol. 34, No. 4, pp. 30-44, April 1991.
- [11] N. K. Mandal, S. Panchanathan and T. Aboulnasr, "Choice of Wavelets for Image Compression". *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 1133, pp. 239-249, 1996.
- [12] Lewis, A. S. and Knowles, G. "Image Compression Using the 2-D Wavelet Transform". *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 1, No. 2, pp. 244-250, April 1996.
- [13] Koenen, R. "Overview of the MPEG-4 Standard". ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, July 1996.