

## 6.

### Resultados

Com a crescente utilização do espectro de rádio para a transmissão de dados através de dispositivos celulares (cartões PCMCIA *wireless*, celulares WAP, PDA's, etc), tem aumentado a preocupação com a melhor utilização do espectro disponível por cada operadora, procurando sempre otimizar a eficiência espectral.

É preocupante o impacto que as transmissões de dados via dispositivos celulares podem causar nas transmissões de voz, por isto diversos estudos nesta área, como os descritos em [7], [8] e [13], tem surgido tentando buscar soluções para se compartilhar o espectro disponível de forma a atender de maneira satisfatória tanto aos usuários de voz quanto aos usuários de dados.

A ferramenta de simulação descrita no capítulo anterior foi desenvolvida para tentar buscar soluções e alternativas para a co-existência de tráfego de dados e de voz sobre uma mesma interface aérea, disputando entre si a alocação de canais rádio para realizar uma transmissão.

Para as simulações realizadas utilizou-se de 2 esquemas de alocação de canais de dados, propostos em [10] e [13].

O primeiro esquema, de agora em diante denominado de *Algoritmo 1*, diz respeito a forma de alocação de canais de dados para usuários flexíveis, como detalhado pelo fluxograma da figura 11 na seção 3.6. Neste esquema, o usuário da chamada de dados informa ao sistema o número mínimo e máximo de canais de dados que serão necessários para realizar a sua transmissão sobre a interface aérea. Estes números mínimo e máximo, para as seções 6.1, 6.2 e 6.4, foram fixados em 2 e 4, respectivamente. Para a seção 6.3 foram utilizados os valores 2 e 3, respectivamente.

O segundo esquema de alocação de canais para a transmissão de dados, que de agora em diante passa a ser denominado de *Algoritmo 2*, diz respeito a forma de alocação dos canais de dados para os usuários não-flexíveis, como detalhado pelo fluxograma da figura 12 da seção 3.6. Neste esquema, o usuário da

chamada de dados informa a quantidade de canais que serão necessários para realizar a transmissão. Caso o sistema não tenha disponível esta quantidade solicitada, a chamada deverá ser bloqueada, pois o usuário não aceita nenhuma redução na quantidade de canais solicitada.

Neste capítulo também é introduzido o conceito de Ineficiência de Transmissão, onde se é calculado o desvio médio quadrático entre a taxa de transmissão solicitada pelo usuário, denominada de  $d$ , e a taxa de transmissão efetivamente alocada pelo sistema para o dado usuário, denominada de  $\bar{r}$ . Esta ineficiência é escrita por:

$$I = \frac{1}{N_u} \cdot \sum_{i=1}^{N_u} (\bar{r} - d)^2 \quad (38)$$

onde:

$I$  = Ineficiência da Transmissão;

$N_u$  = Número de chamadas no sistema, por setor;

$\bar{r}$  = Quantidade média de *slots* alocados pelo sistema para uma chamada de dados

$d$  = Quantidade máxima de *slots* solicitados para uma transmissão de dados;

Desenvolvendo (38) obtêm-se a expressão (39), que foi a expressão matemática utilizada nas simulações para se calcular a ineficiência de transmissão do sistema.

$$I = d^2 - (2 \cdot d \cdot \eta) + \frac{1}{N_u} \cdot N_{nb} \cdot \bar{r} \quad (39)$$

onde:

$I$  = Ineficiência da Transmissão;

$d$  = Quantidade máxima de *slots* solicitados para a transmissão;

$N_u$  = Número de chamadas no sistema, por setor;

$N_{nb}$  = Número de chamadas efetivadas, por setor;

$\bar{r}$  = Quantidade média de *slots* alocados pelo sistema para a chamada de dados;

e onde ( $\eta$ ) é calculada por (40):

$$\eta = \left( \frac{T_{xm}}{d \cdot T_x} \right) \quad (40)$$

onde:

$T_{xm}$  = Taxa de transferência média no setor;

$d$  = Quantidade máxima de *slots* solicitados para a transmissão de dados na chamada;

$T_x$  = Taxa de transferência da chamada de dados.

A taxa de transferência média ( $T_{xm}$ ) no setor é calculada por (41):

$$T_{xm} = \frac{\sum T_{xu}}{N_s} \quad (41)$$

onde:

$T_{xm}$  = Taxa de transferência média no setor;

$T_{xu}$  = Taxa de transferência do usuário no setor;

$N_s$  = Número de chamadas de dados por setor.

Nas seções a que se seguem, foram realizadas simulações com dois tipos de geração de pacotes de dados. Na seção 6.1 utilizou-se da distribuição de Pareto como modelo para geração de pacotes de dados de e-mail, como descrito pela tabela 7. Estes pacotes possuem variação de 8,5 a 12 kbytes, tendo como média 10,25 kbytes. Na seção 6.2 foram gerados pacotes de dados com tamanho fixo em 100 kbytes, simulando a transmissão de um fax via celular.

Em todas as simulações realizadas levou-se em consideração uma área com as seguintes características:

- Área tipicamente urbana de uma cidade grande;
- 15.000 assinantes de voz;
- 15.000 assinantes de dados, com taxa de transmissão constante de 4.5 kbps em cada *slot* alocado.
- Duração média das chamadas de voz: 120 segundos;

É sabido que a taxa de transmissão em cada *slot* GSM é de 9.6 kbps, mas, como apresentado e analisado por [24], a esta taxa ainda se tem que levar em conta atrasos causados pelos retardos da geração e transmissão dos pacotes sobre a interface aérea.

Das simulações realizadas por [24] encontrou-se que a taxa de transmissão de dados ideal, que leva em consideração todos os interferentes de uma transmissão, é de 4.5 kbps, que foi a taxa utilizada para todas as simulações apresentadas neste capítulo.

O parâmetro de entrada *taxa de originação de chamadas por hora em cada bloco* foi o único parâmetro variado no sistema. Este teve início em 103 chamadas por hora, com acréscimo de 20 chamadas a cada nova simulação realizada, parando em 180 chamadas por hora.

Os demais parâmetros utilizados, e que permaneceram fixos durante todas as simulações, foram:

- Distância entre duas estações rádio-base adjacentes: 1,4 Km;
- 16 estações rádio-base, com setorização tripla;
- 3 portadoras por setor;
- Mobilidade Aleatória;
- Tipo de bloco: residencial;
- Tempo de iteração: 1 segundo;
- Quantidade de chamadas a serem geradas: 30.000 chamadas;
- Janela de controle de potência: 12 medidas;
- $\frac{C}{I}$  limiar de acesso: 12 dB;
- $\frac{C}{I}$  limiar de potência superior: 30 dB;
- $\frac{C}{I}$  limiar de potência inferior: 16 dB;
- Altura média da antena do terminal móvel: 1,5 m;
- Altura da antena da estação rádio base: 30 m;

- Potência de transmissão da estação rádio-base: 30 dBm;
- Ganho da antena da estação rádio-base: 18 dBi;
- Número de blocos de prédios: 625;
- Largura da rua: 30 m;
- Largura da calçada: 5 m;
- Densidade de veículos por segmento de rua: 100 carros/rua;
- Velocidade permitida por segmento de rua: 60 km/h;
- Tentativas sem sucesso para bloquear uma chamada de voz: 1;
- Tentativas sem sucesso para bloquear uma chamada de dados: 1;
- Tentativas sem sucesso para falha de handover em uma chamada de voz: 1;
- Tentativas sem sucesso para falha de handover em uma chamada de dados: 1;

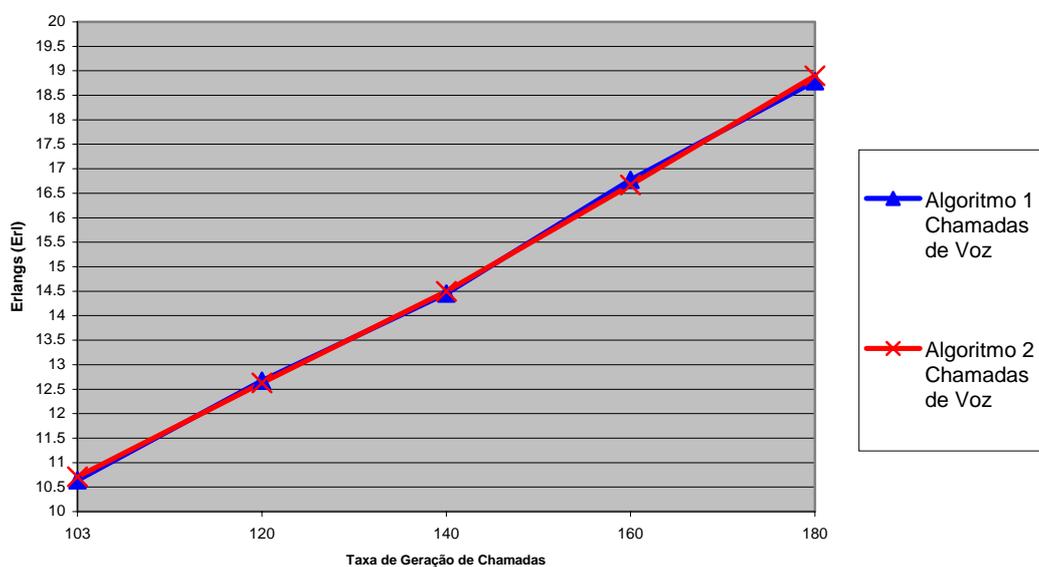
## **6.1. Simulações Utilizando Pareto como Modelo para a Geração de Pacotes**

### **6.1.1. Simulações de Tráfego de Voz e Dados em Conjunto, Utilizando os Algoritmos 1 e 2 propostos em [13]**

Verificando as simulações de [7], [8] e [13], percebeu-se que as mesmas foram realizadas em um ambiente celular onde existia somente tráfego de dados originados por terminais móveis, sem nenhuma presença de tráfego de voz. Este trabalho propõe que a simulação de tráfego de voz e dados seja feita em conjunto em um mesmo ambiente celular, sobre uma mesma interface aérea, sem separação de portadoras pelos tipos de tráfego existentes.

Como mencionado anteriormente, para as simulações apresentadas nesta sub-seção, os parâmetros de configuração das quantidades mínima e máxima de *slots* solicitados no *algoritmo 1* pelo usuário flexível será de 2 e 4 *slots*, respectivamente. Para o *algoritmo 2*, os mesmos parâmetros de configuração de quantidade *slots* serão de 4 e 4 *slots*, respectivamente, garantindo assim que o usuário não-flexível não permita ao sistema variar a quantidade mínima e máxima de *slots* durante o processo de alocação dos canais para uma transmissão de dados.

A figura 40 ilustra o tráfego de voz em *Erlangs* gerado pelas 15.000 chamadas de voz.



**Figura 40 - Tráfego Médio Gerado pelas Chamadas de Voz no Sistema (em Erlangs)**

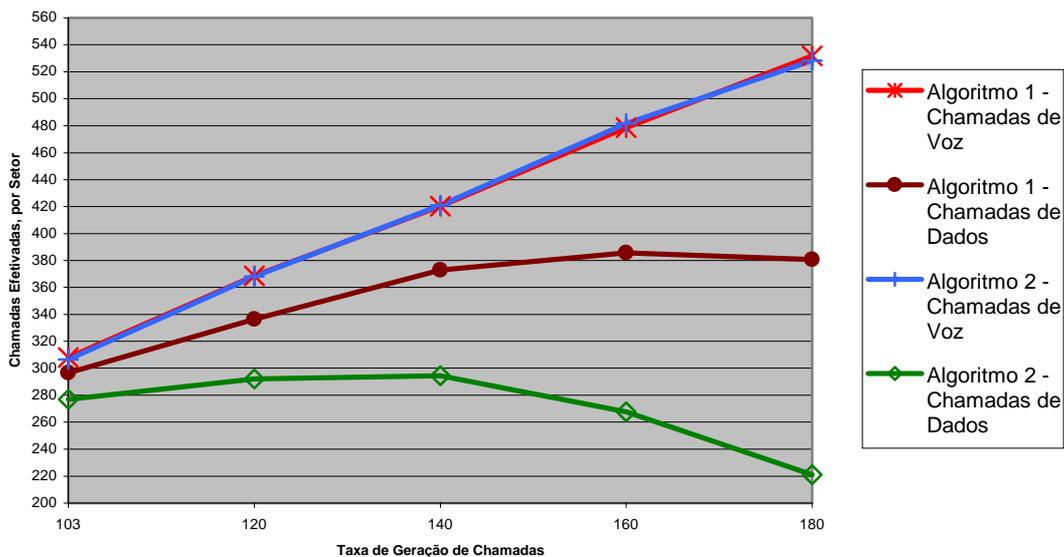
Percebe-se pela figura acima que os *Algoritmos 1* e *2* não prejudicaram a geração de chamadas de voz no sistema, dado que a mesma obteve crescimento constante a medida que a taxa de geração de chamadas foi incrementado.

A figura 41 apresenta a quantidade de chamadas de voz e de dados realizadas com sucesso no sistema. Nota-se que a geração de chamadas de voz possui crescimento constante no sistema, como já descrito pela figura 40. O mesmo crescimento não é observado nas chamadas de dados para nenhum dos algoritmos de alocação de canais propostos por [10] e [13].

Nas chamadas de dados para o *Algoritmo 1*, o crescimento do número de chamadas bem sucedidas é observado até a taxa de geração igual a 160 chamadas

por hora. Após, percebe-se uma estabilização momentânea e depois se inicia um processo de queda.

Para o *algoritmo 2* a saturação do sistema e posterior queda no número de chamadas ocorre mais rapidamente, devido a não-flexibilidade deste algoritmo quanto ao esquema de alocação de canais para dados.



**Figura 41 - Número Médio de Chamadas de Voz e Dados por Setor no Sistema**

As figuras 42, 43 e 44 mostram, respectivamente, os gráficos das probabilidades de bloqueio, de falha de *handover* e de terminação forçada para voz e dados.

Verifica-se pela probabilidade de bloqueio de voz que os algoritmos de alocação de canais de dados não afetam a realização de chamadas de voz, mantendo os níveis de aceitação determinados pela ANATEL dentro do patamar máximo de 2% de bloqueio, até a taxa de geração de 140 chamadas por hora.

Verifica-se também que a probabilidade de bloqueio das chamadas de dados para ambos os algoritmos de alocação de dados propostos em [10] e [13] excedem o patamar de 2% de bloqueio com o número mínimo de chamadas originadas em cada bloco, chegando ao valor de 56,51% para o caso geração de 180 chamadas por hora para o *algoritmo 2*. Ou seja, embora os *Algoritmos 1* e *2* tenham sido propostos para a transmissão de dados, eles acabam por favorecer

fortemente as taxa de realização de chamadas de voz. Isto também explica a queda na curva de chamadas de dados apresentada na figura 41.

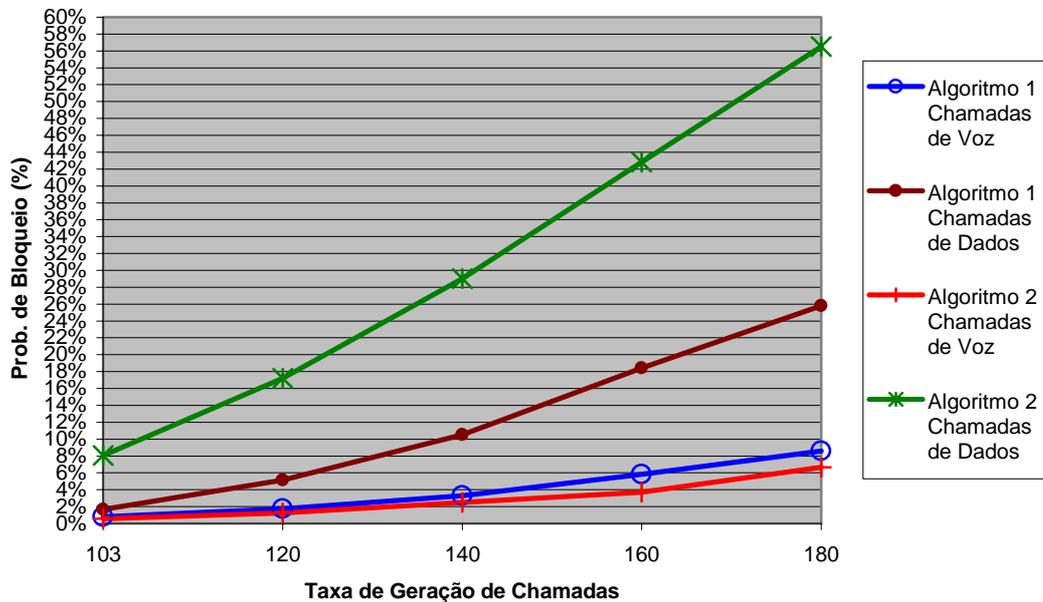
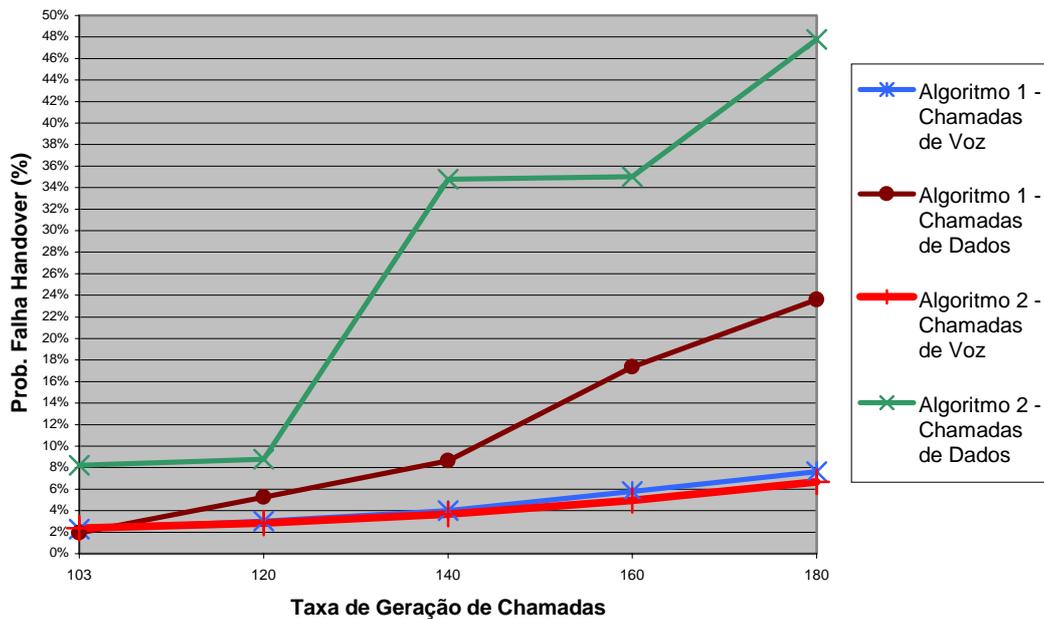


Figura 42 – Probabilidade Bloqueio Média de Chamadas de Voz e de Dados, por Setor

A alta probabilidade de falha de *handover* para o *algoritmo 2* é justificável, dado a rápida saturação do sistema para esta configuração, dificultando assim a existência de canais de dados disponíveis na quantidade desejada para se realizar um *handover*.

Nas chamadas de voz o bloqueio de *handover* é baixo devido o sistema somente alocar 1 canal de voz por usuário, além de existir canais suficientes para realizar o *handover*, já que para as chamadas de dados são sempre necessários, no melhor caso, 2 *slots* livres.



**Figura 43 - Probabilidade de Falha de Handover Média para Chamadas de Voz e Dados - por Setor**

Outro gráfico interessante de se analisar é o da probabilidade de terminação forçada, apresentado pela figura 44. Esta, para chamadas de dados, é baixa porque o tamanho do pacote de dados para e-mail é pequeno, possuindo média de 10,25 kbytes, como apresentado na introdução deste capítulo, e a transmissão dos dados e subsequente liberação dos canais são realizadas de forma rápida. Com isto, as chamadas de dados não necessitam de *handover*, evitando assim sofrer uma terminação forçada por falta de canal disponível.

Já para as chamadas de voz a probabilidade de terminação forçada é alta devido, principalmente, a interferência que a mesma causa no sistema, já que seu tempo médio de permanência é maior (em média, 120 segundos) do que o tempo de permanência das chamadas de dados, apresentada pela figura 45.

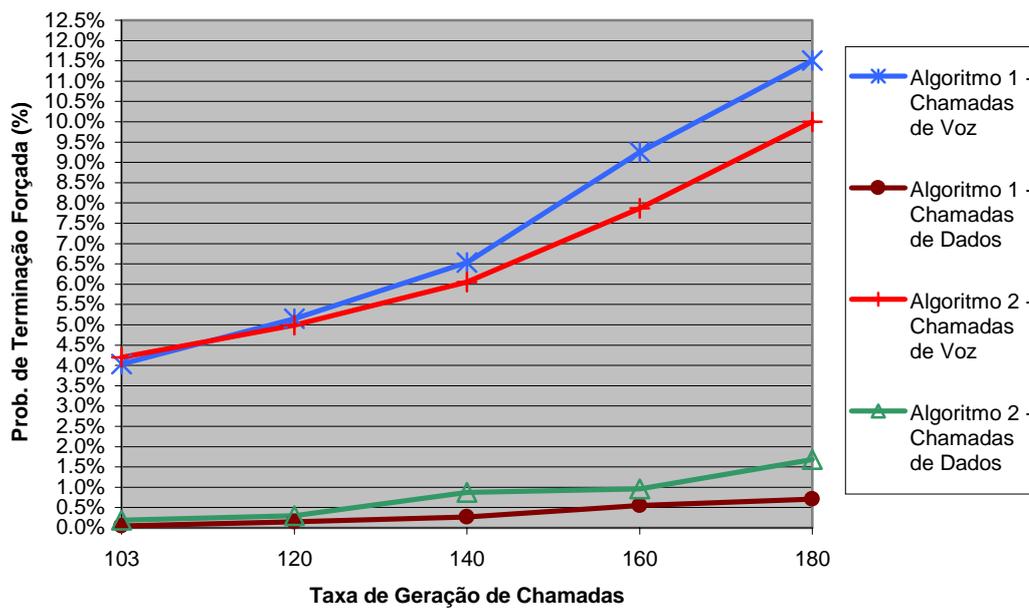


Figura 44 - Probabilidade de Terminação Forçada Média para Chamadas de Voz e Dados - por Setor

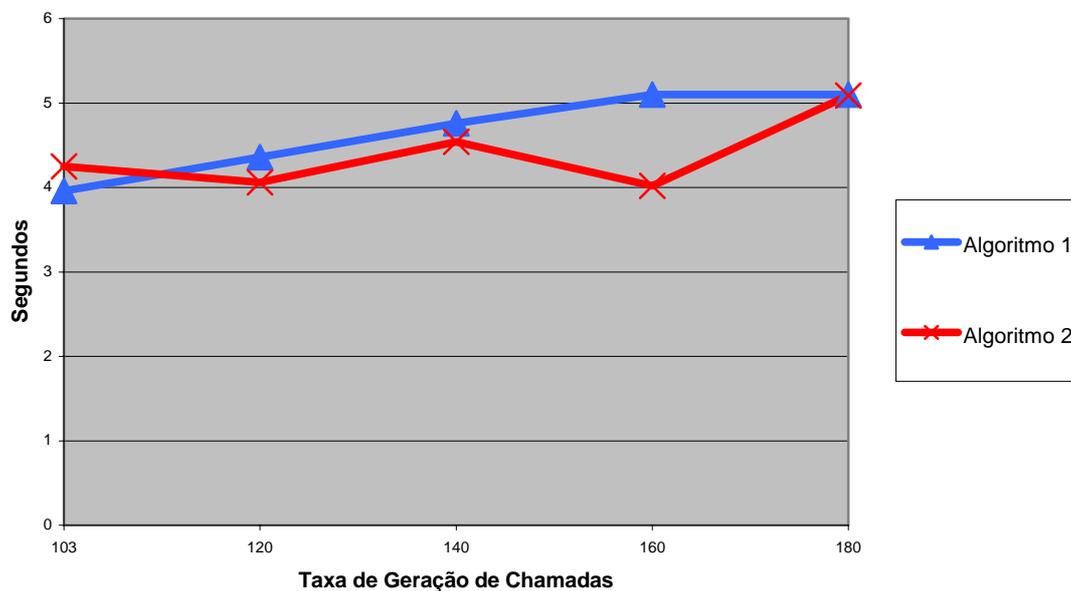
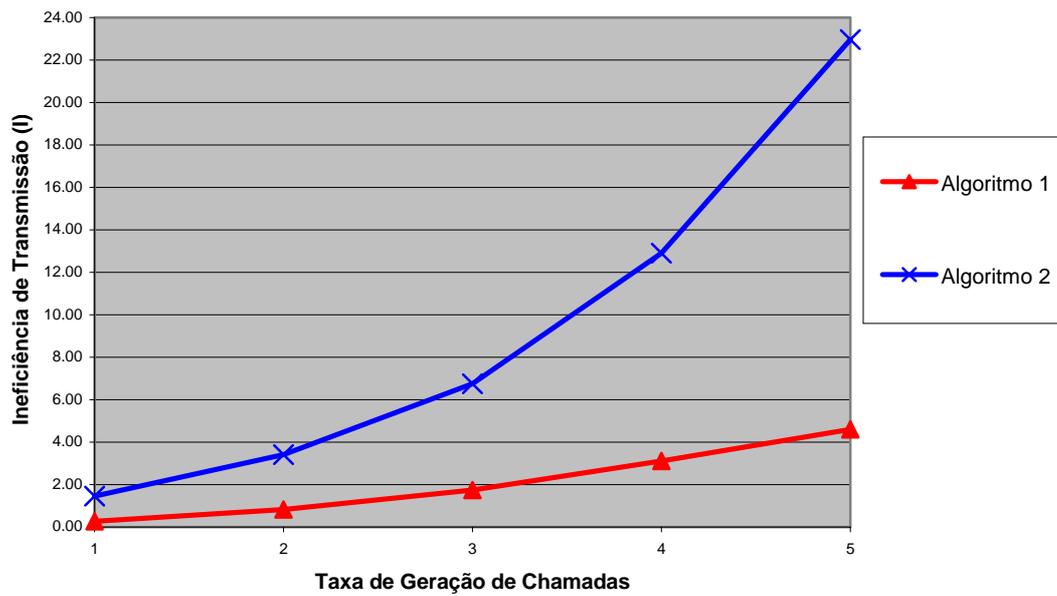


Figura 45 - Duração Média das Chamadas de Dados

A Ineficiência de Transmissão de dados do sistema, calculada pela expressão (39), é apresentada na figura 46.



**Figura 46 – Ineficiência de Transmissão de Dados no Sistema**

Percebe-se que a ineficiência na transmissão cresce a medida que a taxa de geração de chamadas aumenta. Isto é esperado porque o número de *slots* disponíveis para a alocação de dados diminui e logicamente, a probabilidade de bloqueio das chamadas no sistema aumenta, já que mais chamadas estão sendo geradas no sistema.

Esta queda na disponibilidade de *slots* para alocação pode ser percebida pela figura 47, que apresenta a quantidade média de *slots* alocados por uma chamada de dados.

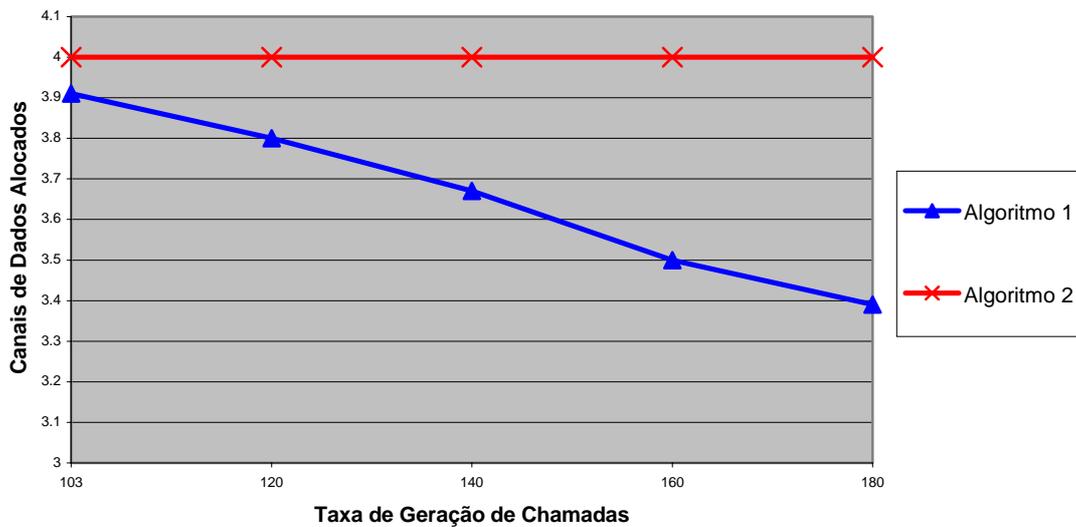


Figura 47 - Número Médio de Canais Alocados para Dados – por Setor

### 6.1.2. Proposta de Novos Esquemas de Alocação de Canais para o Tráfego de Dados e Voz sobre uma mesma Interface Aérea

Devido à alta probabilidade de bloqueio de dados gerados pelos *Algoritmos 1 e 2* para os casos descritos em [10] e [13], é proposto neste trabalho retirar o controle de solicitação de quantidade de *slots* do usuário e repassá-lo à rede. O usuário poderá solicitar uma quantidade mínima e máxima de *slots* desejáveis para a sua transmissão, mas a rede é quem controlará a distribuição dos *slots* disponíveis aos usuários, levando em consideração a forma de utilização da portadora. Esta é a diferença básica entre os *Algoritmos 1 e 2* e o *Algoritmo 3*, que será descrito no parágrafo seguinte.

Para organizar a forma de distribuição dos *slots* disponíveis em uma portadora, é proposto um novo algoritmo de alocação de canais de dados que possui 2 opções de variação de limites:

*Opção 1* - Quando o conjunto de portadoras do setor atingir 50% de utilização de seus canais disponíveis para a transmissão de voz e dados em

conjunto, todas as chamadas de dados geradas posteriormente a este valor terão a sua quantidade máxima de *slots* reduzida a 50% do valor solicitado. Ou seja, como as chamadas de dados sempre solicitam 4 *slots* como valor máximo, este valor será reduzido a 2 *slots* por chamada de dados. Para as chamadas de voz é alocado apenas 1 *slot* por chamada.

*Opção 2* - A medida que se preencher o conjunto de portadoras do setor, a rede vai diminuindo a quantidade de *slots* máxima que as chamadas de dados poderão utilizar. Isto significa que:

- Para uma utilização dos canais de 0 a 25%, a rede alocará no máximo 4 *slots* para uma transmissão de dados;
- Para uma utilização dos canais de 25 a 50%, a rede alocará no máximo 3 *slots* para uma transmissão de dados;
- Para uma utilização dos canais de 50 a 75%, a rede alocará no máximo 2 *slots* para uma transmissão de dados;
- Para uma utilização de portadora de 75 a 100%, a rede alocará no máximo 1 *slot* para uma transmissão de dados;

Com este novo algoritmo deseja-se diminuir consideravelmente as probabilidades de bloqueio, falhas de *handover* e terminação forçada no sistema e como consequência, aumentar a eficiência da transmissão de dados.

Novas simulações foram geradas, seguindo os mesmos parâmetros descritos na introdução deste capítulo, acrescentando a eles o controle da distribuição de *slots* realizado pela própria rede.

- As figuras 48 e 49 apresentam as novas probabilidades de bloqueio para voz e dados encontrados com a utilização das 2 opções do *Algoritmo 3*, em conjunto as probabilidades de bloqueio anteriormente encontradas para os *Algoritmos 1 e 2*.

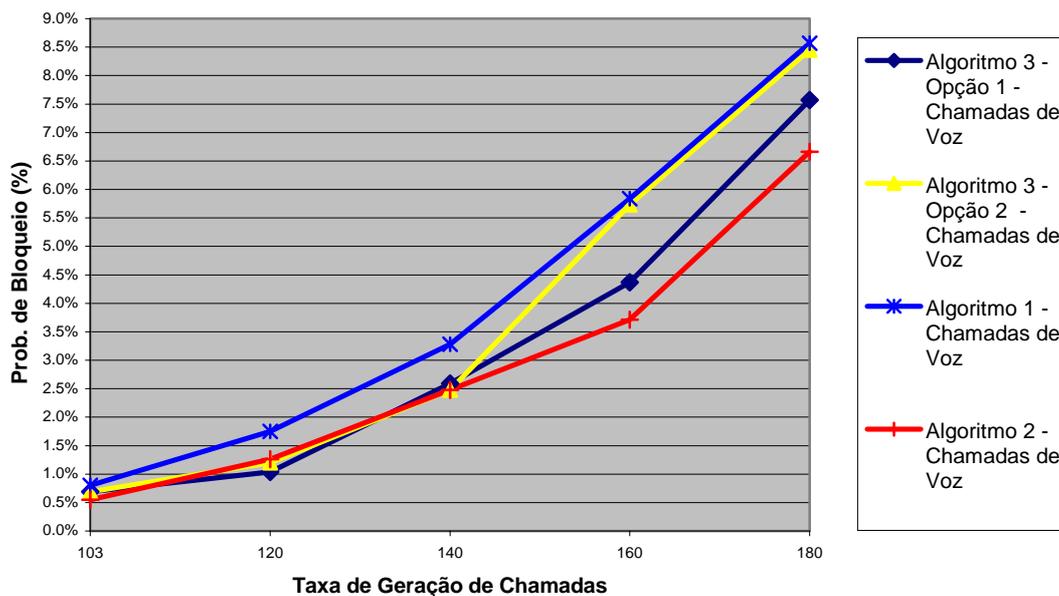


Figura 48 – Probabilidade de Bloqueio Média para Chamadas de Voz – por Setor

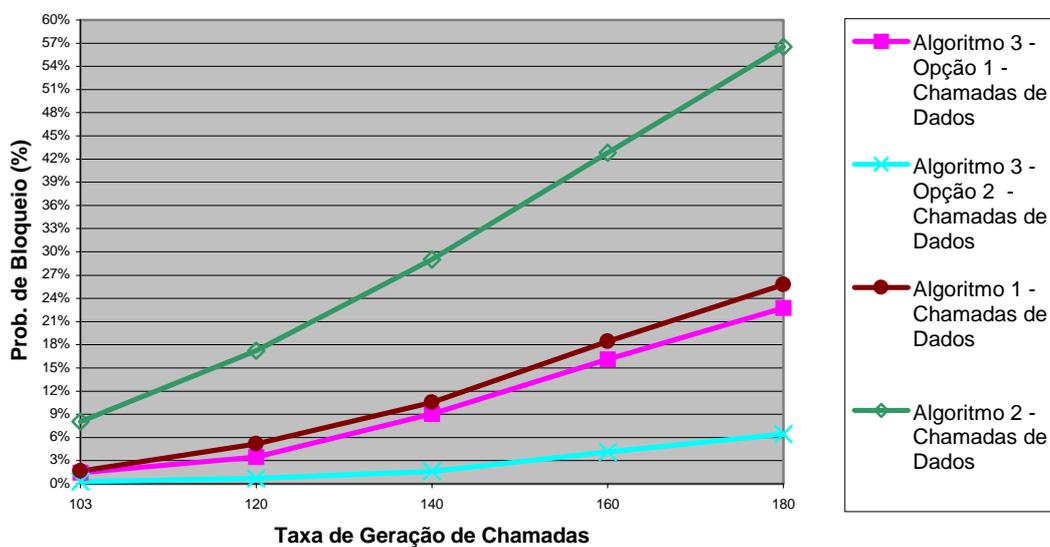


Figura 49 – Probabilidade de Bloqueio Média para Chamadas de Dados – por Setor

Pode-se perceber que a probabilidade de bloqueio de dados cai drasticamente a patamares aceitáveis na telefonia celular com a implementação de ambas as opções do *Algoritmo 3*.

Este novo algoritmo de variação de limites é transparente com relação às chamadas de voz geradas no sistema, como pode ser observado pela figura 50.

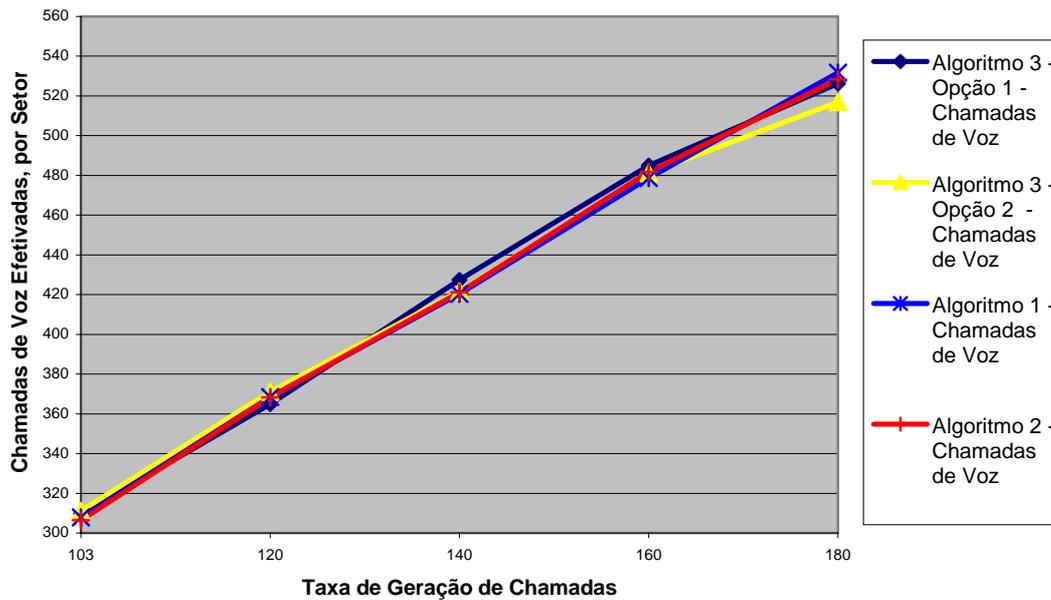


Figura 50 – Número Médio de Chamadas de Voz - por Setor

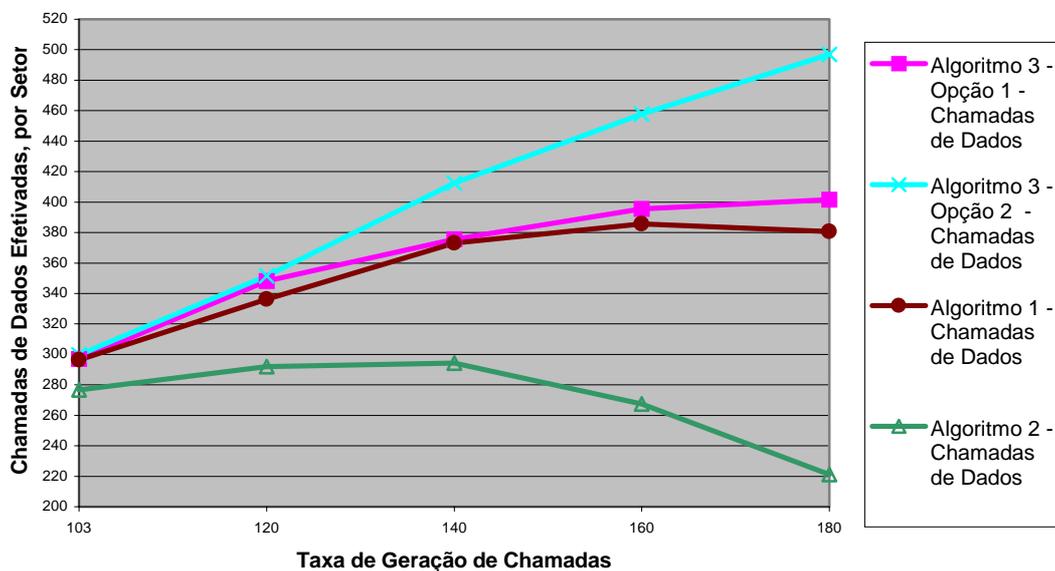


Figura 51 – Número Médio de Chamadas de Dados - por Setor

O maior benefício deste novo algoritmo de alocação de canais é com relação ao aumento significativo da quantidade de chamadas de dados que o sistema consegue comportar. Este número chega a quase dobrar em comparação aos *Algoritmos 1* e *2* propostos por [10] e [13]. Este novo valor pode ser

observado pela figura 51, que apresenta as novas capacidades de chamadas de dados que o sistema pode comportar.

Percebe-se também, nas figuras 53 e 55, que as probabilidades de falha de *handover* e terminação forçada para as chamadas de dados também caem drasticamente com a implementação do *Algoritmo 3*. Este benefício também é visto para as chamadas de voz, apresentadas pelas figuras 52 e 54, mas em menor escala.

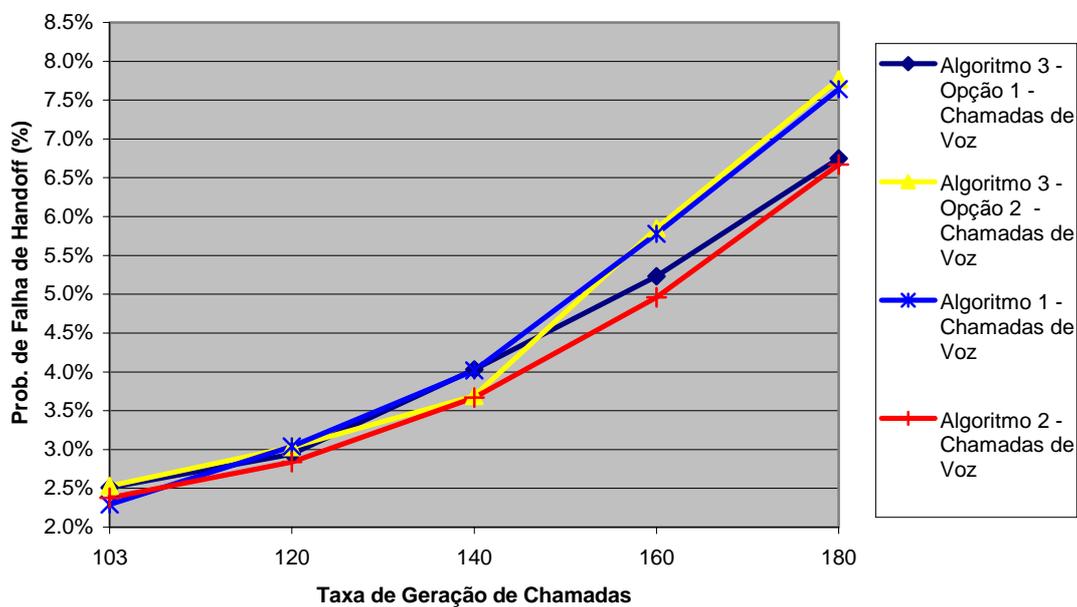


Figura 52 - Probabilidade de Falha de *Handover* Média para Chamadas de Voz - por Setor

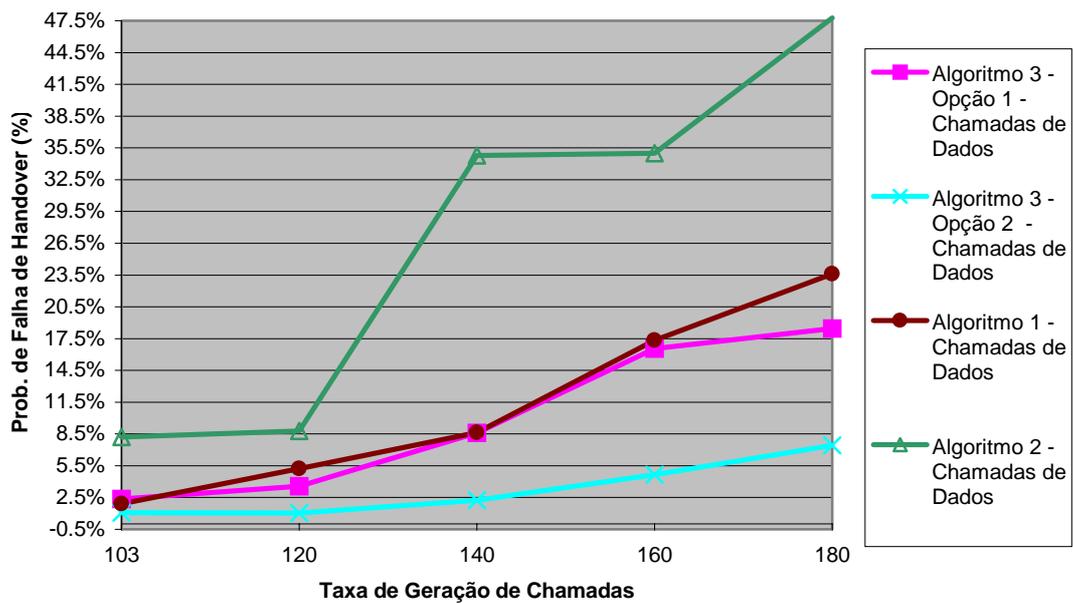


Figura 53 - Probabilidade de Falha de *Handover* Média para Chamadas de Dados - por Setor

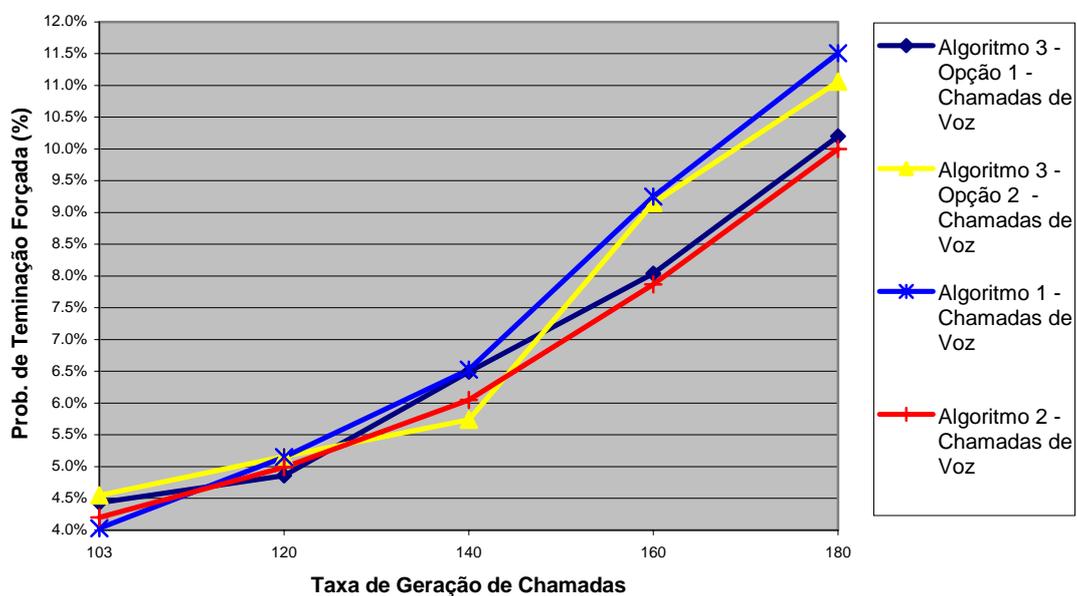
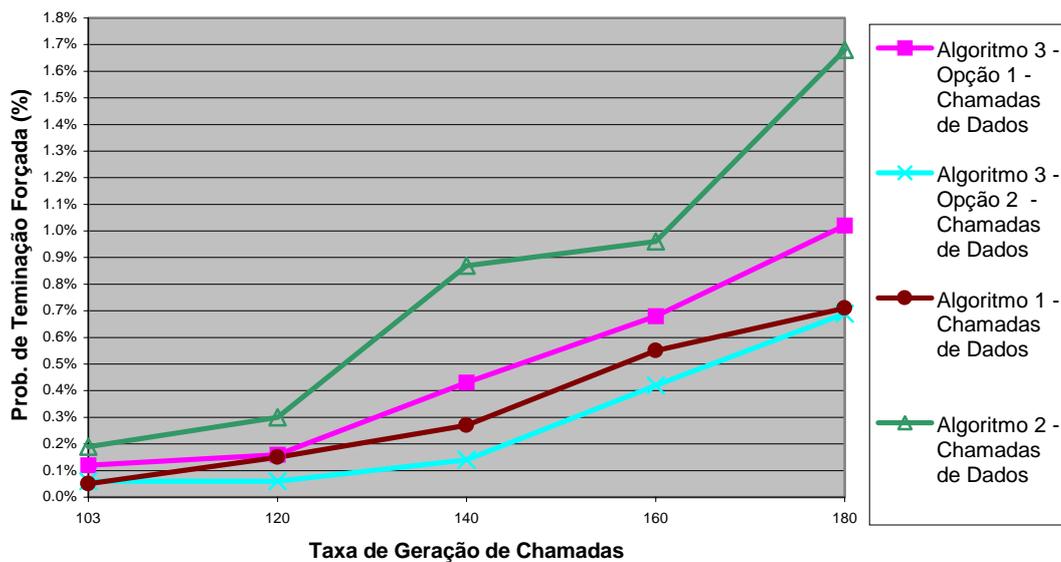
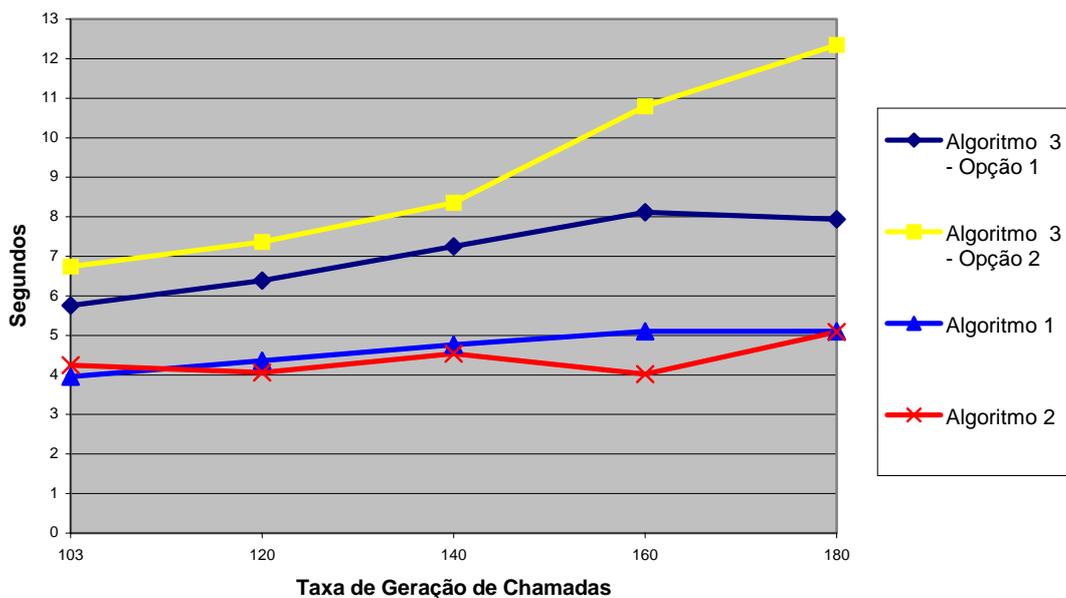


Figura 54 - Probabilidade de Terminação Forçada Média para Chamadas de Voz - por Setor



**Figura 55 - Probabilidade de Terminação Forçada Média para Chamadas de Dados - por Setor**

Como imaginado, o tempo das chamadas de dados e a ineficiência da transmissão subiram para este novo algoritmo de alocação de canais de dados, devido a menor quantidade de canais alocados para a realização da transmissão. Este aumento no tempo e na ineficiência da transmissão pode ser observado nas figuras 56, 57 e a diminuição da quantidade de canais alocados, na figura 58.



**Figura 56 - Duração Média das Chamadas de Dados - por Setor**

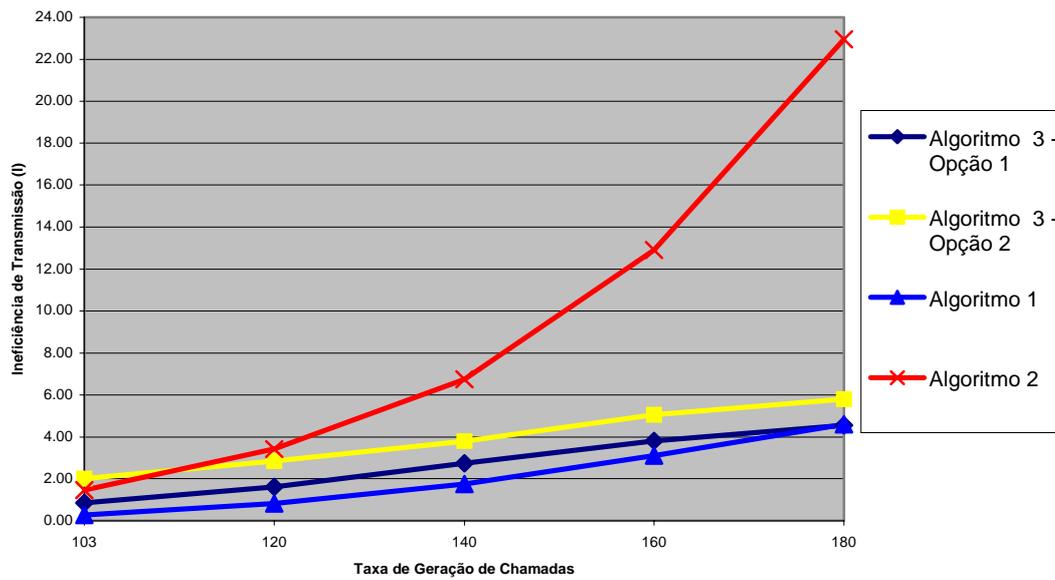


Figura 57 - Ineficiência de Transmissão de Dados no Sistema

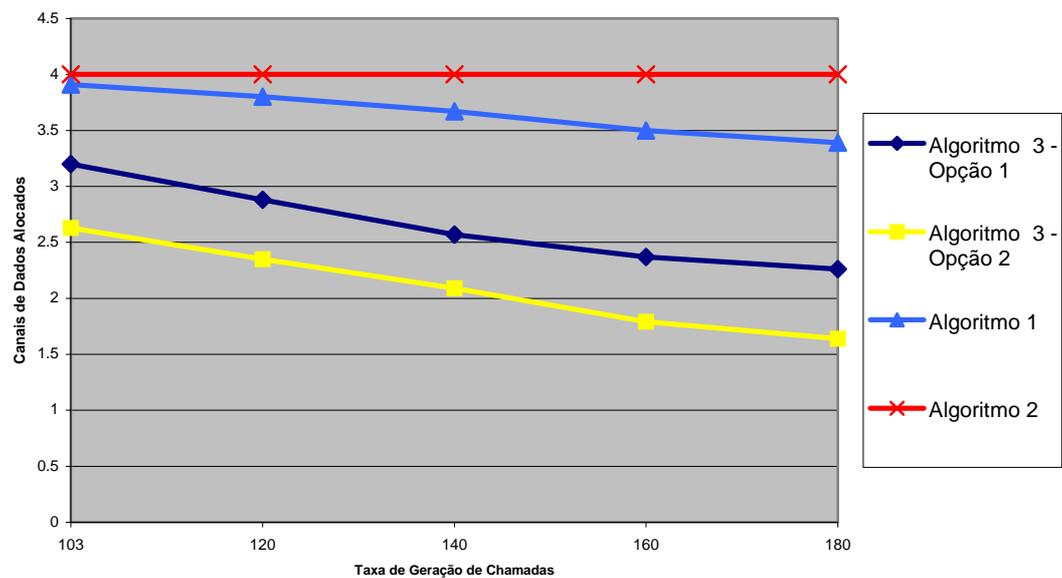


Figura 58 - Número Médio de Canais Alocados para Dados – por Setor

Caso a rede utilize tarifação por pacote para a transmissão de dados, o usuário não será onerado pelo maior tempo gasto na transmissão dos dados em detrimento da redução na quantidade de *slots* alocados.

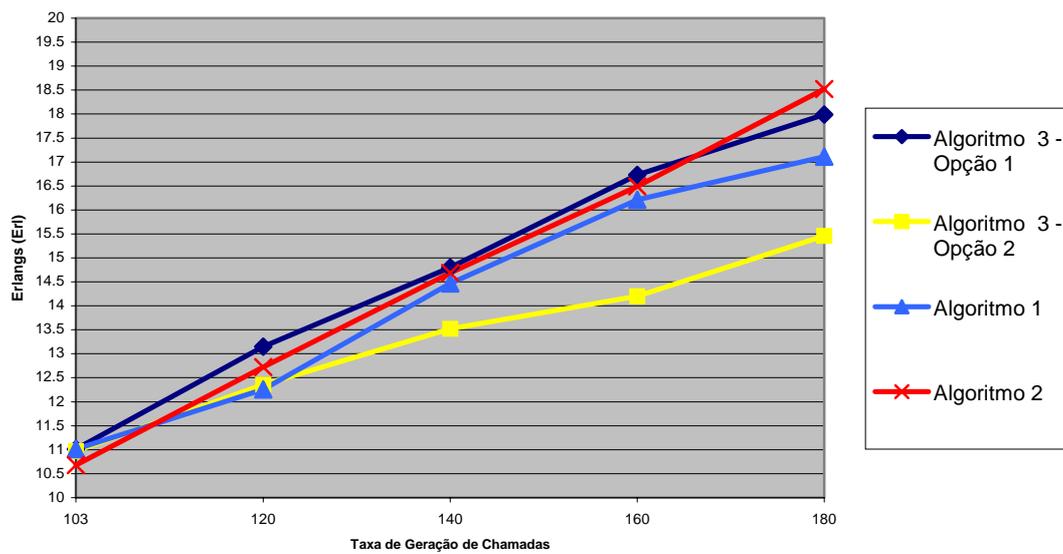
## **6.2. Simulações de Tráfego de Voz e Dados Sobre a Mesma Interface Aérea, Utilizando-se de Tamanho de Pacotes Fixos em 100 kbytes**

Em todas as simulações realizadas na seção 6.1 foi-se utilizado da distribuição de Pareto como modelo para geração de pacotes aleatórios para o tráfego de e-mail, como descrito na tabela 7 da seção 5.1.1.

Dado que a média do tamanho de pacotes para e-mail é de 10,25 kbytes, resolveu-se simular novamente os mesmos eventos ocorridos na seção 6.1, mas agora com tamanho de pacotes fixos em 100 kbytes, para se analisar o comportamento do sistema mediante o *Algoritmo 3*, em comparação aos *Algoritmos 1 e 2*.

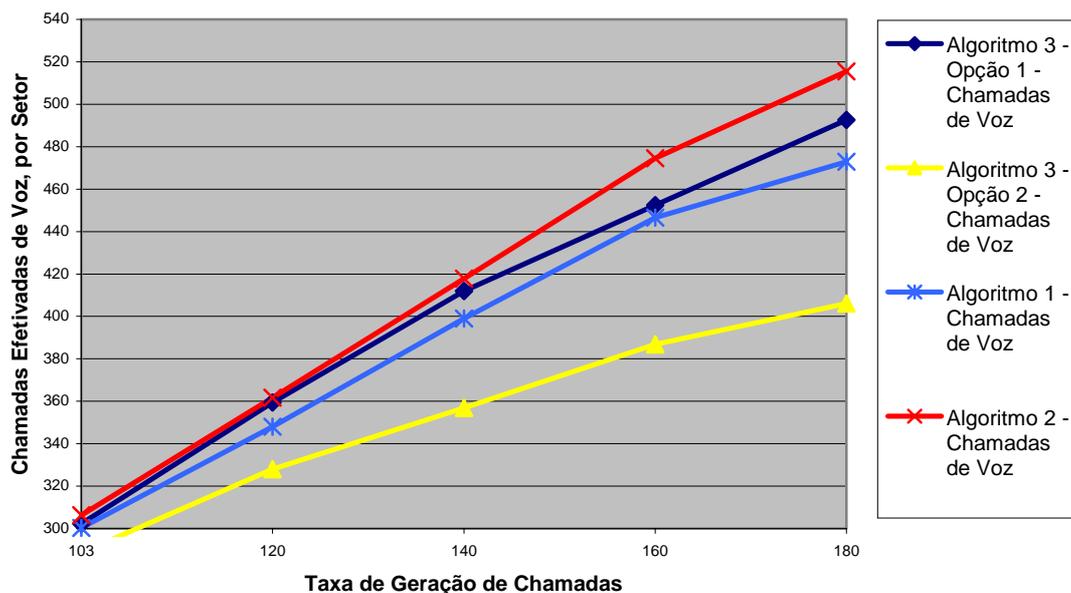
O tamanho de 100 kbytes equivale à transmissão de fax via celular de um texto com 2 páginas de escrita contínua, sem anexos ou figuras, de acordo com [8].

Todos os demais parâmetros de entrada do simulador não foram modificados, permanecendo idênticos à descrição no início do capítulo.

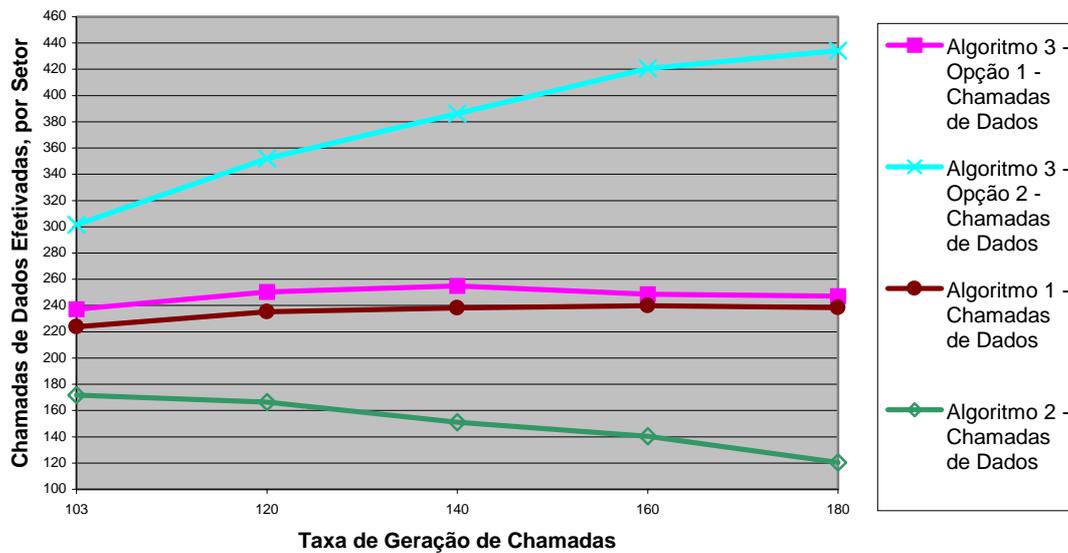


**Figura 59 - Tráfego Médio de Chamadas de Voz Comportados no Sistema (em Erlangs)**

Pode-se verificar, pela figura 59, que o tráfego de voz, com a nova distribuição de tráfego de dados, apresenta uma pequena queda, se comparado ao tráfego de voz gerado no caso da transmissão de dados com tamanho médio de pacote em 10,25 kbytes. Percebe-se também que para o *Algoritmo 3* existe uma queda no tráfego efetivado. Isto é observado na figura 60, que apresenta as chamadas de voz efetivadas no sistema.

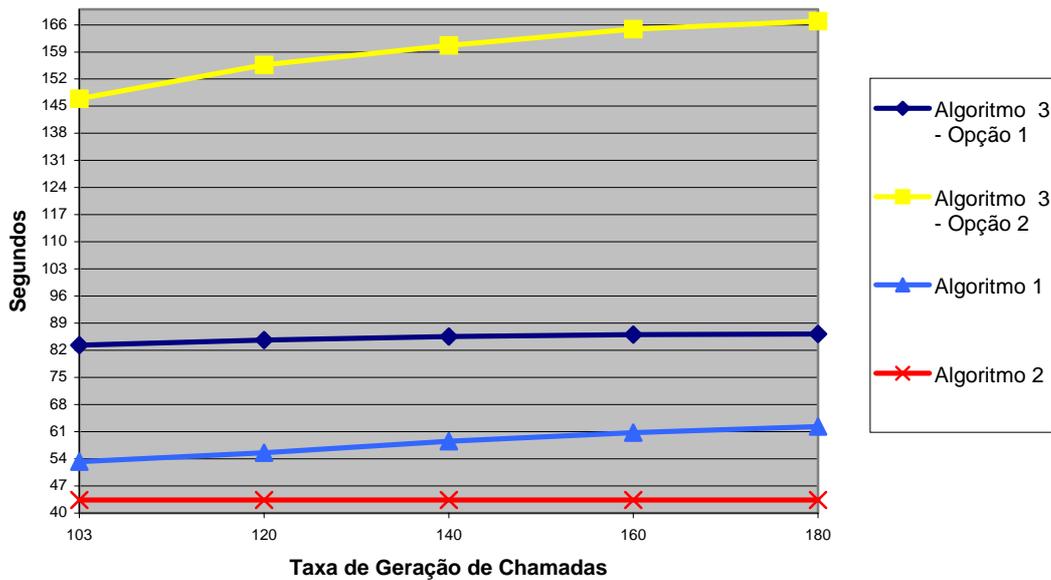


**Figura 60 - Número Médio de Chamadas de Voz - por Setor**



**Figura 61 - Número Médio de Chamadas de Dados - por Setor**

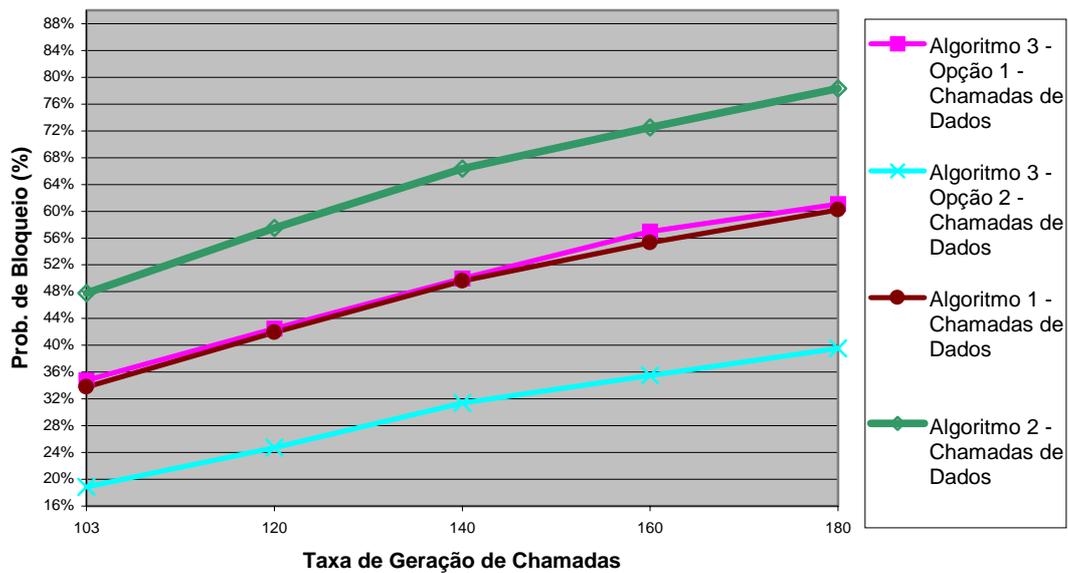
Comparando a figura 61 à figura 51, apresentada na seção 6.1.2, verifica-se uma diminuição da quantidade de chamadas de dados efetivadas. Esta queda é ocasionada pelo maior tempo gasto para se transmitir uma chamada de dados com tamanho de 100 kbytes e, conseqüentemente, retendo a alocação dos canais de dados por um período maior de tempo. Esta retenção leva a uma diminuição na entrada de novas chamadas de dados e voz e, por conseqüência, ao aumento das probabilidades de bloqueio.



**Figura 62 - Duração Média das Chamadas de Dados - por Setor**

É verificado em 62 que a duração média das chamadas de dados para o *Algoritmo 2* é de 43 segundos. Esta duração média, em comparação com a duração do *Algoritmo 3 – Opção 2*, que possui média de 160 segundos, é bem inferior, devido a quantidade de *slots* alocados para cada tipo de transmissão de dados. Percebe-se também que probabilidade de bloqueio de novas chamadas para o *Algoritmo 2*, apresentada na figura 63, é bem superior ao do *Algoritmo 3 – Opção 2*, visto que para o *Algoritmo 2* existe mais *slots* disponíveis para a transmissão de dados do que para o *Algoritmo 3 – Opção 2*.

Em 63 nota-se também que a probabilidade de bloqueio das chamadas de dados se apresentam superiores aos patamares permitidos pela ANATEL. Isto demonstra que em uma área de cobertura celular onde exista um intenso tráfego de dados, e que estes dados possuam tamanhos consideráveis, mais portadoras devem ser disponibilizadas para atender à demanda de tráfego solicitada e, conseqüentemente, diminuir a probabilidade de bloqueio das chamadas.



**Figura 63 - Probabilidade de Bloqueio Média das Chamadas de Dados - por Setor**

Para esta simulação, onde o tamanho do pacote de dados é fixo em 100 kbytes, a transmissão de dados afeta a transmissão de voz, gerando assim um aumento na probabilidade de bloqueio de voz, devido a indisponibilidade de *slots* livres para este tipo de chamada. Este problema é demonstrado pela figura 64, onde se apresenta a probabilidade de bloqueio de voz para o caso de tamanho de pacotes fixos em 100 kbytes.

Em consequência da indisponibilidade de *slots* livres, a probabilidade de falha de *handover* para voz e dados cresce demasiadamente, chegando também a níveis inaceitáveis por parte da ANATEL.

As figuras 65 e 66 apresentam estas probabilidades.

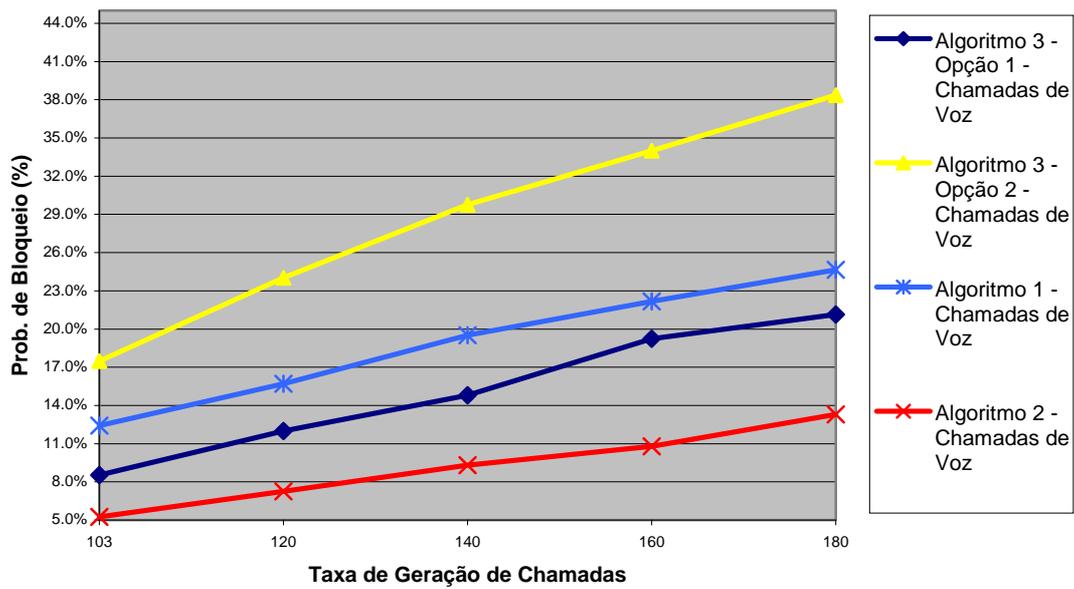


Figura 64 - Probabilidade de Bloqueio Média para Chamadas de Voz - por Setor

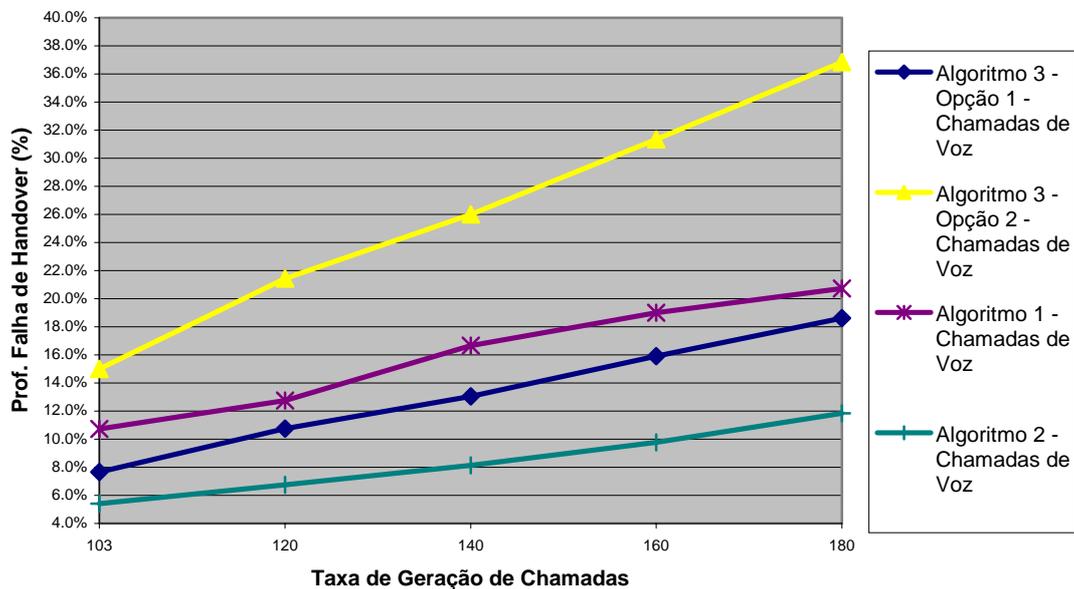
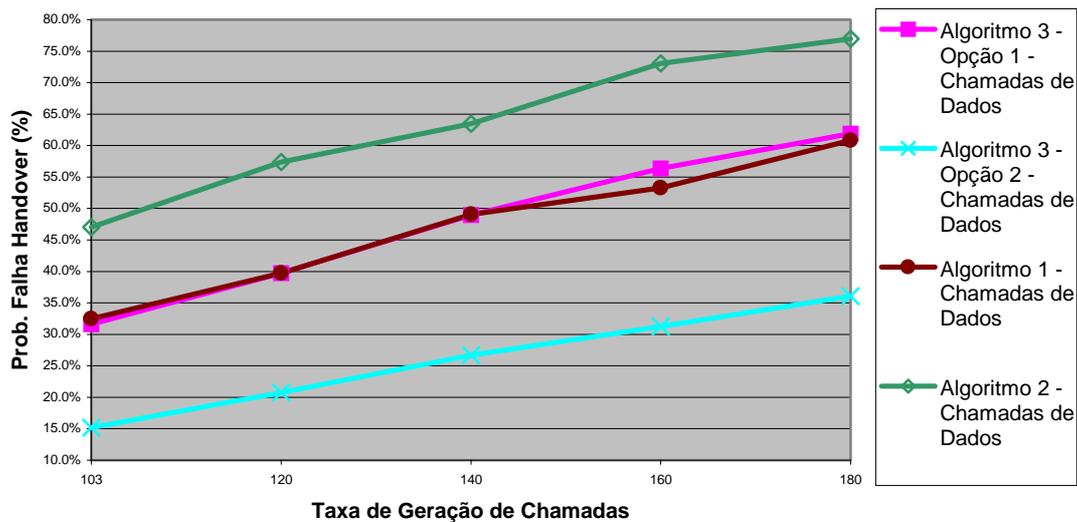


Figura 65 - Probabilidade de Falha de Handover Média para Chamadas de Voz - por Setor



**Figura 66 - Probabilidade de Falha de *Handover* Média para Chamadas de Dados - por Setor**

As probabilidades de terminação forçada para as chamadas de voz e de dados também são severamente afetadas, dado a indisponibilidade de *slots* livres para se realizar um procedimento de *handover*, bem como a interferência causada no sistema pelas longas chamadas de dados. Isto pode ser verificado pelas figuras 67 e 68.

Mas mesmo com o incremento das probabilidades de terminação forçada, é perceptível que ambas as opções do *Algoritmo 3* possuem probabilidades inferiores às aprestadas nos *Algoritmos 1* e *2*, justificando novamente a eficiência deste novo algoritmo.

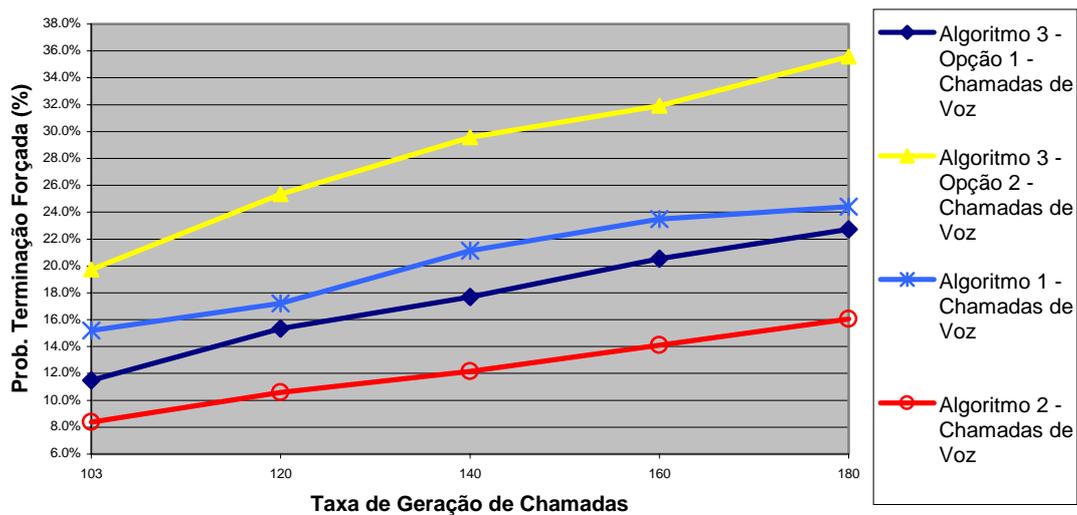


Figura 67 - Probabilidade de Terminação Forçada Média para Chamadas de Voz - por Setor

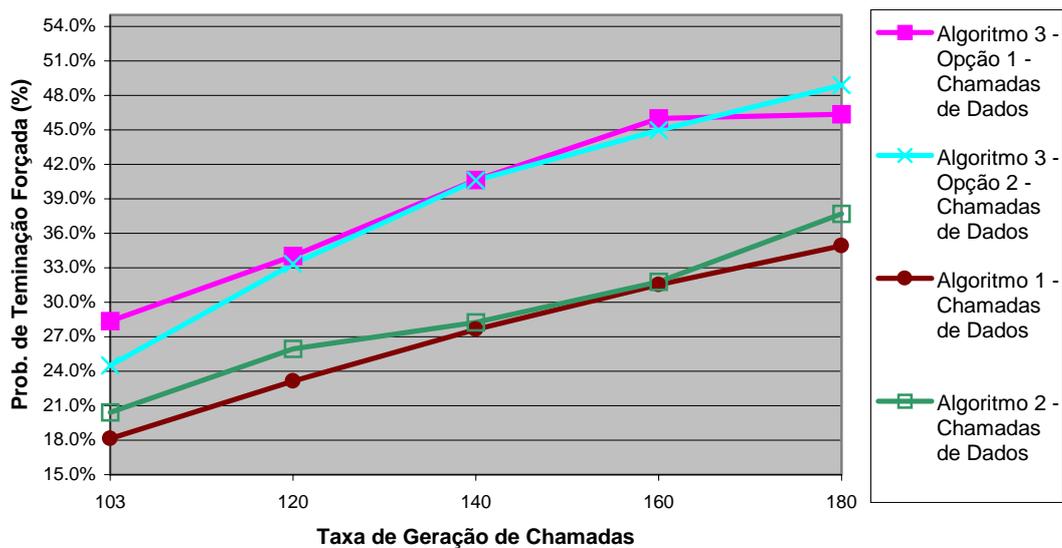


Figura 68 - Probabilidade de Terminação Forçada Média para Chamadas de Dados - por Setor

As figuras 69 e 70 apresentam a ineficiência da transmissão e a média de *slots* alocados para as chamadas de dados no caso de pacotes fixos em 100 kbytes.

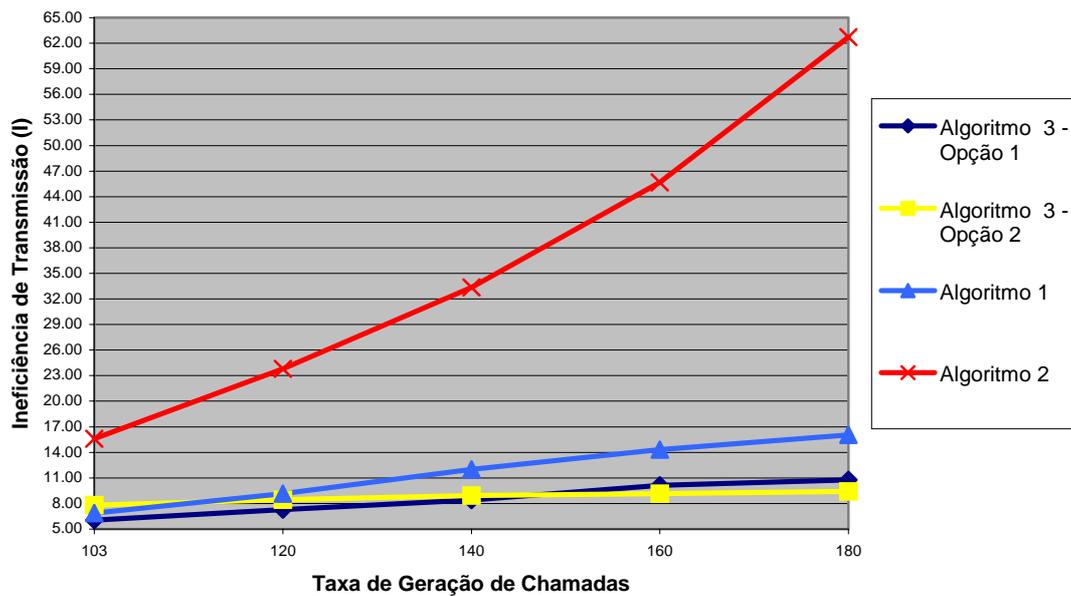


Figura 69 - Ineficiência de Transmissão de Dados no Sistema

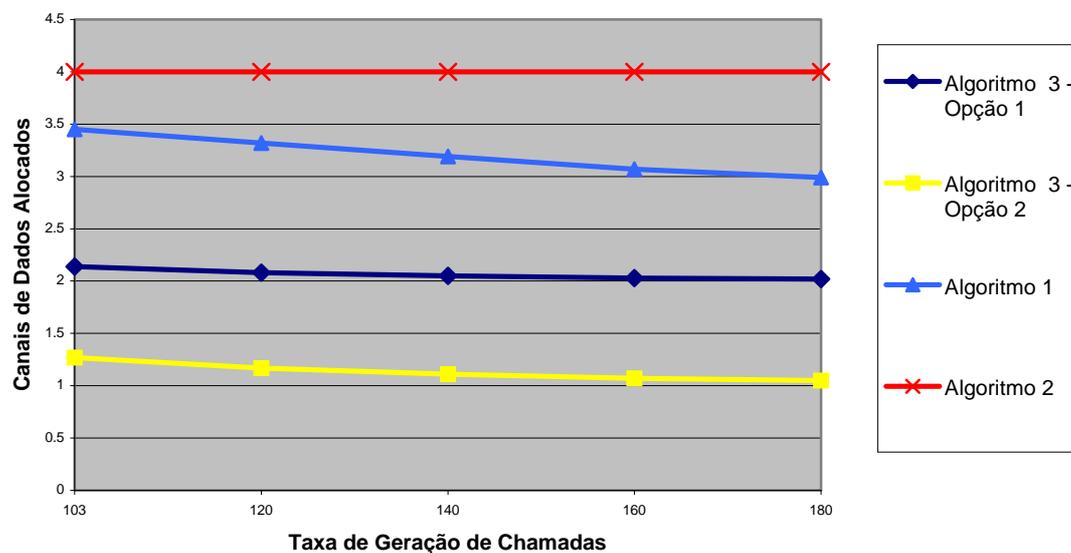


Figura 70 - Número Médio de Canais Alocados para Dados – por Setor

Pode-se verificar, pela figura 70, que a média de canais alocados para dados no *Algoritmo 3 – Opção 2* chega ao patamar de 1 *slot* para cada chamada de dados, se igualando, em número de *slots* utilizados, a uma chamada de voz. Este valor, mais uma vez confirma a eficiência deste algoritmo de alocação de canais para a transmissão de dados, que busca, ao extremo, maximizar a eficiência no

uso do espectro disponível para tentar atender o maior número possível de chamadas de dados.

### **6.3. Simulações de Transmissão de Dados Utilizando-se da Configuração Máxima de 3 Slots por Chamada de Dados**

Na seção 6.1 foram realizadas simulações que utilizavam a distribuição de Pareto como modelo gerador de pacotes de dados e onde, nestas simulações, sempre a configuração máxima permitida de *slots* por chamada de dados era de 4 *slots*.

Para esta seção simulou-se novamente todas os casos e configurações descritas na seção 6.1, modificando apenas a configuração máxima permitida de 4 *slots* por chamada de dados para 3 *slots* por chamada.

Para o *Algoritmo 3 – Opção 2*, que se utilizava 3 variações de limites nas chamadas de dados, esta variação foi alterada para 2 variações de limites.

O novo escalonamento da portadora ficou configurado como descrito abaixo:

- Para uma utilização de portadora de 0 a 33%, a rede alocará no máximo 3 *slots* para uma transmissão de dados;
- Para uma utilização de portadora de 33 a 66%, a rede alocará no máximo 2 *slots* para uma transmissão de dados;
- Para uma utilização de portadora de 66 a 100%, a rede alocará no máximo 1 *slot* para uma transmissão de dados.

Analisando-se os resultados e gráficos resultantes das novas simulações, percebe-se que os mesmos se encontram com pequenas porcentagens de diferença, mas em mesma escala de igualdade aos gráficos apresentados nas seções anteriores, salvos os gráficos da ineficiência de transmissão, duração das chamadas de dados e média de canais alocados para a transmissão de dados. Estes são apresentados pelas figuras 71, 72 e 73, respectivamente.

Os gráficos que não sofreram modificações significativas não serão mostrados, por apresentarem resultados praticamente iguais aos das seções anteriores.

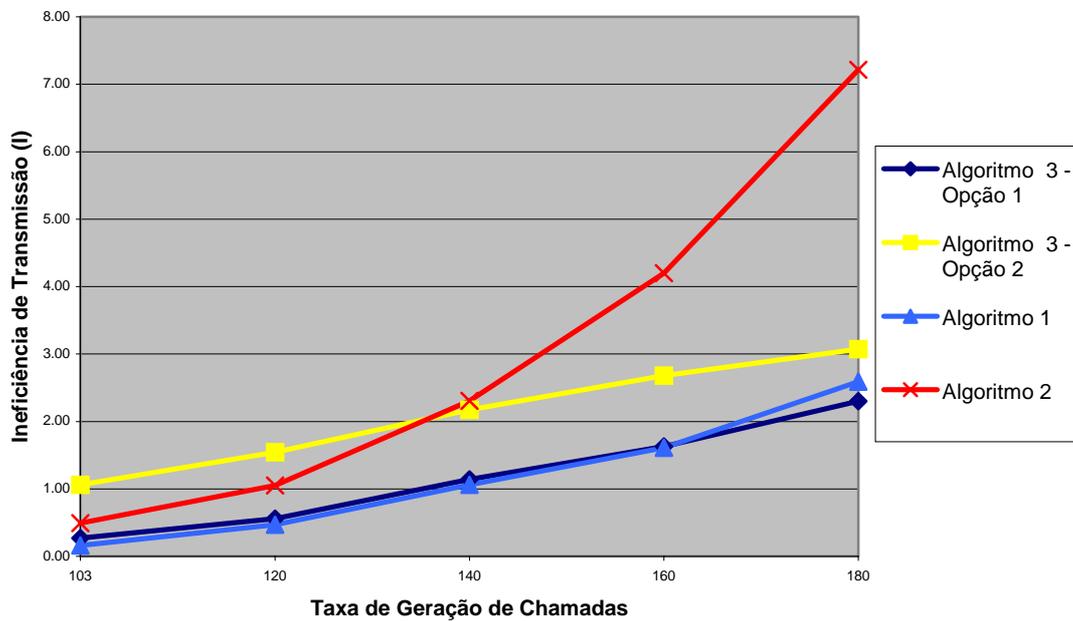


Figura 71 - Ineficiência de Transmissão de Dados no Sistema

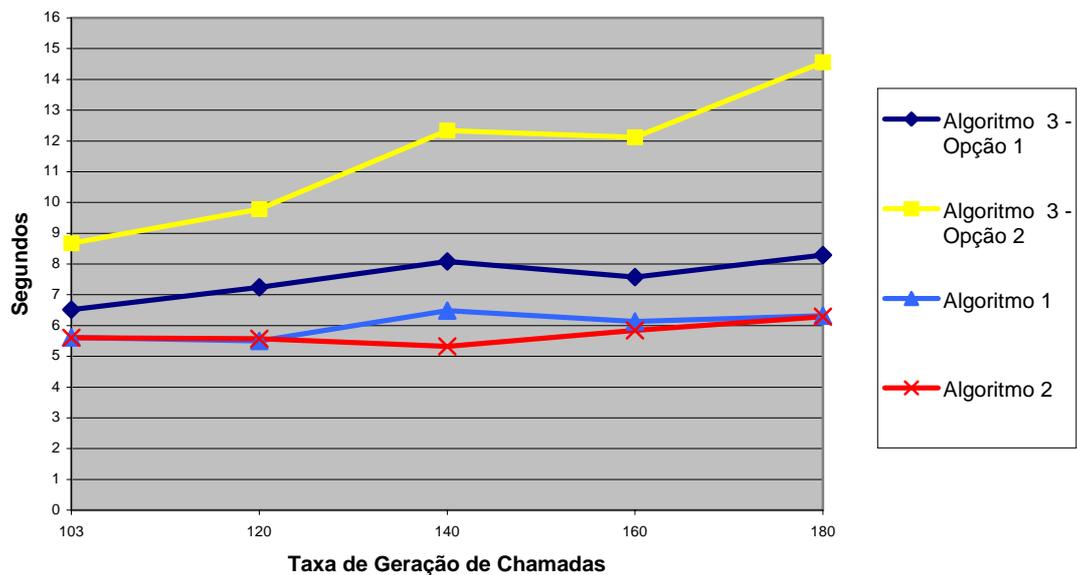
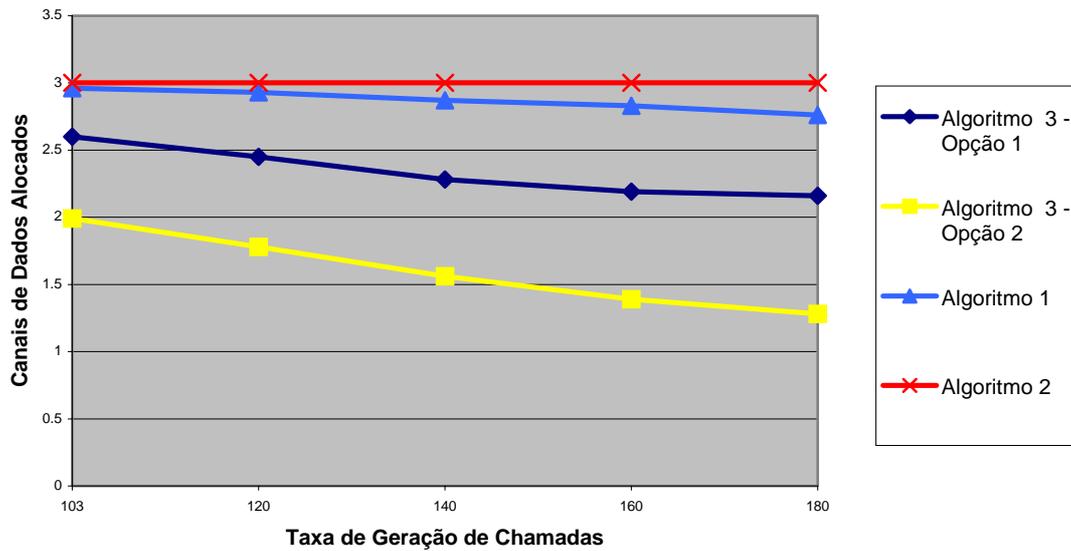


Figura 72 - Duração Média das Chamadas de Dados - por Setor



**Figura 73 – Número Médio de Canais Alocados para Dados – por Setor**

Os tempos de duração das chamadas de dados, apresentados pela figura 72, são maiores, se comparados à figura 56, devido a menor quantidade de *slots* utilizados em cada chamada de dados. Quanto menos canais forem alocados para uma transmissão de dados, mais tempo será gasto nesta transmissão. Isto pode ser observado pela curva do *Algoritmo 3 – Opção 2* apresentada na figura 73.

A queda na média de canais alocados para a transmissão de dados, apresentado pela figura 73, também é justificada pela menor quantidade de *slots* alocados em cada chamada de dados.

Comparando-se a variação das curvas da figura 73, com a variação das curvas da figura 58, percebe-se que as duas estão no mesmo patamar de igualdade, já que a queda nas curvas é semelhante, salvo a diferença na quantidade média de canais alocados.

## 6.4. Estratégias para Maximização da Eficiência Espectral

Nesta seção foram refeitas todas as simulações descritas nas seções 6.1 e 6.2, variando os seguintes parâmetros de entrada:

- Tentativas sem sucesso para bloquear uma chamada de voz;
- Tentativas sem sucesso para bloquear uma chamada de dados;
- Tentativas sem sucesso para falha de *handover* em uma chamada de voz;
- Tentativas sem sucesso para falha de *handover* em uma chamada de dados;

Ao todo, foram geradas 2 simulações para cada um dos 3 algoritmos de alocação de canais de dados considerados nesta dissertação.

Os novos parâmetros de entrada modificados em cada uma das novas simulações foram:

### *1ª Simulação:*

- Tentativas sem sucesso para bloquear uma chamada de voz: 3;
- Tentativas sem sucesso para bloquear uma chamada de dados: 1;
- Tentativas sem sucesso para falha de *handover* em uma chamada de voz: 3;
- Tentativas sem sucesso para falha de *handover* em uma chamada de dados: 1;

### *2ª Simulação:*

- Tentativas sem sucesso para bloquear uma chamada de voz: 1;
- Tentativas sem sucesso para bloquear uma chamada de dados: 3;
- Tentativas sem sucesso para falha de *handover* em uma chamada de voz: 1;

- Tentativas sem sucesso para falha de *handover* em uma chamada de dados: 3;

A legenda dos gráficos que serão apresentados abaixo terá a seguinte nomenclatura:

- Simulações realizadas nas seções 6.1 e 6.2: *Voz = 1 e Dados = 1*;
- 1ª Simulação desta seção: *Voz = 3 e Dados = 1*;
- 2ª Simulação desta seção: *Voz = 1 e Dados = 3*;

Devido ao volume de informações coletadas e procurando obter uma melhor visualização dos resultados, serão apresentados em cada gráfico os valores obtidos para cada um dos 3 algoritmos de alocação de canais para transmissão de dados em separado. Também serão mostrados somente os gráficos que utilizaram a Distribuição de Pareto como modelo matemático para a geração dos pacotes de dados.

As figuras 74 a 81 apresentam o número médio de chamadas de dados e voz para cada um dos algoritmos de alocação de canais propostos.

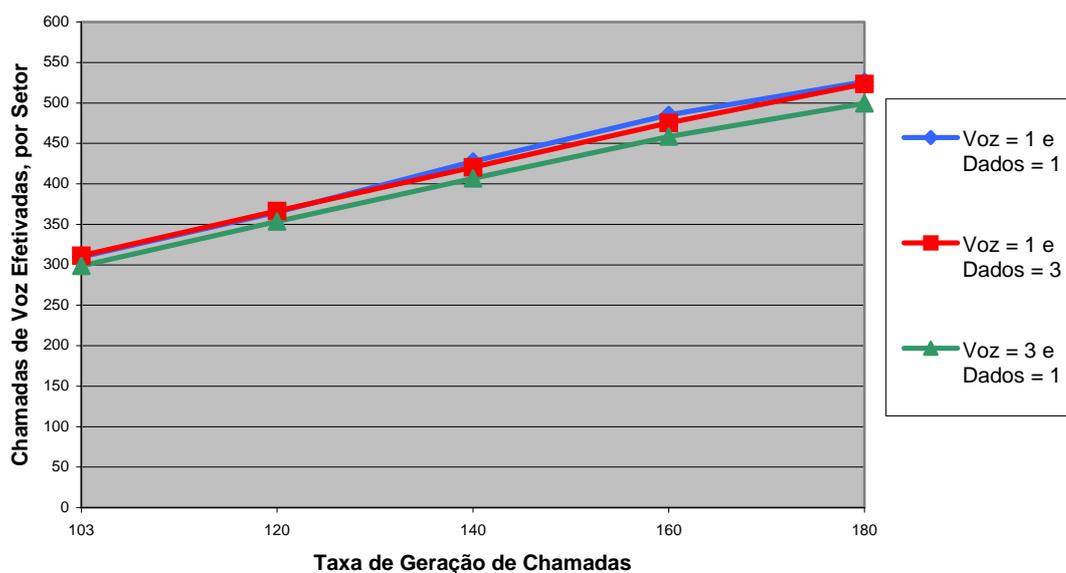


Figura 74 - Número Médio de Chamadas de Voz por Setor - Algoritmo 3 -Opção 1

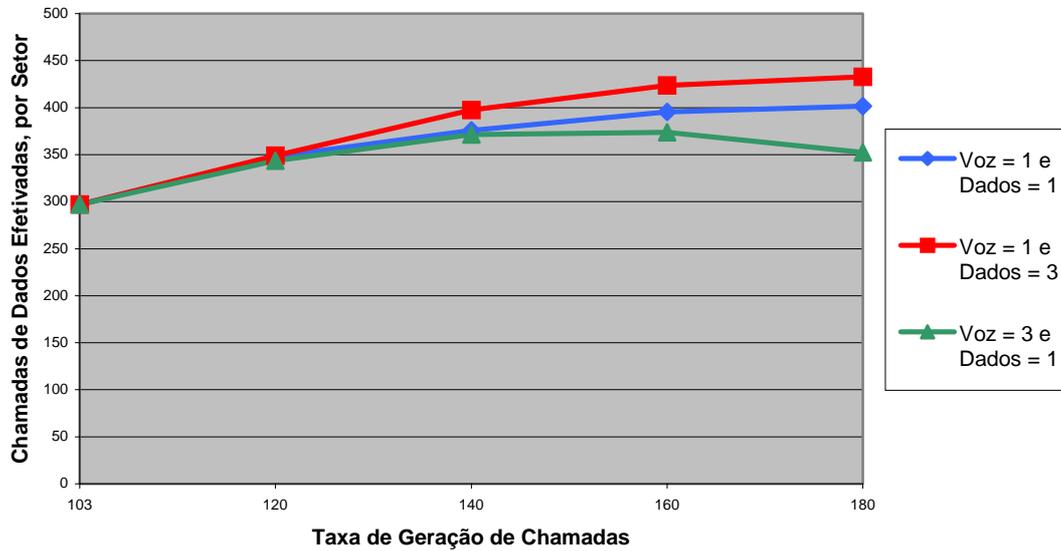


Figura 75 - Número Médio de Chamadas de Dados, por Setor - *Algoritmo 3 - Opção 1*

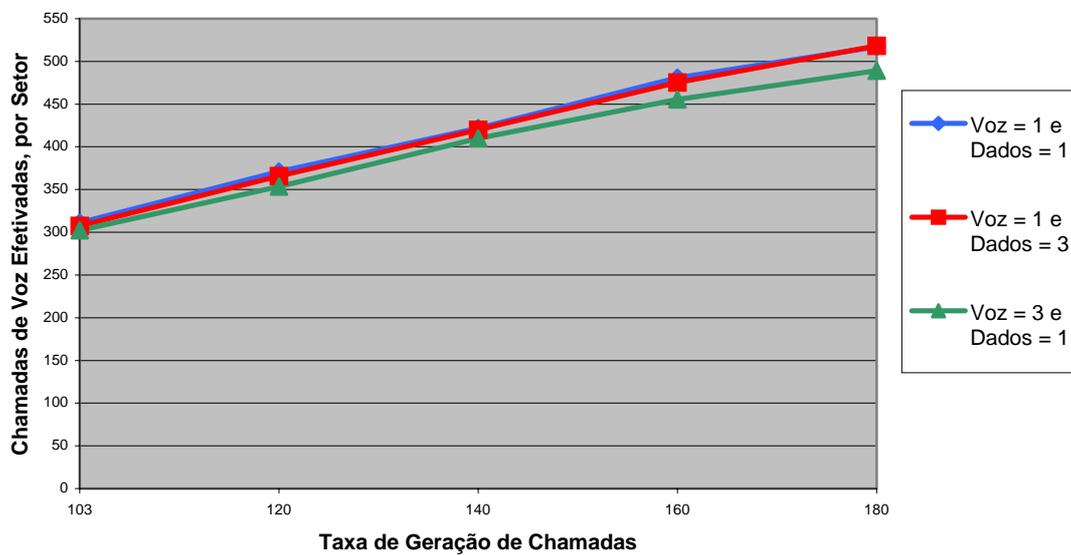


Figura 76 - Número Médio de Chamadas de Voz - *Algoritmo 3 - Opção 2*

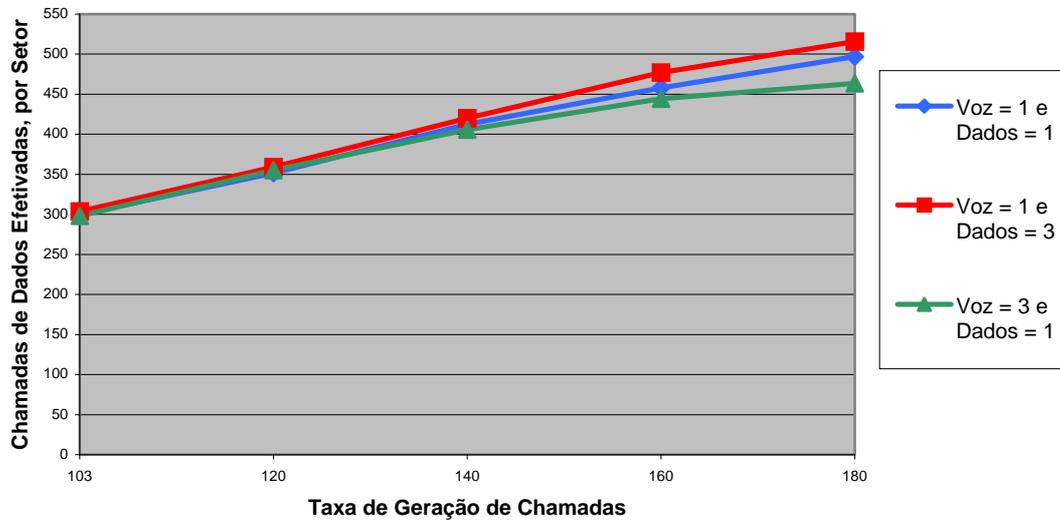


Figura 77 - Número Médio de Chamadas de Dados - *Algoritmo 3 -Opção 2*

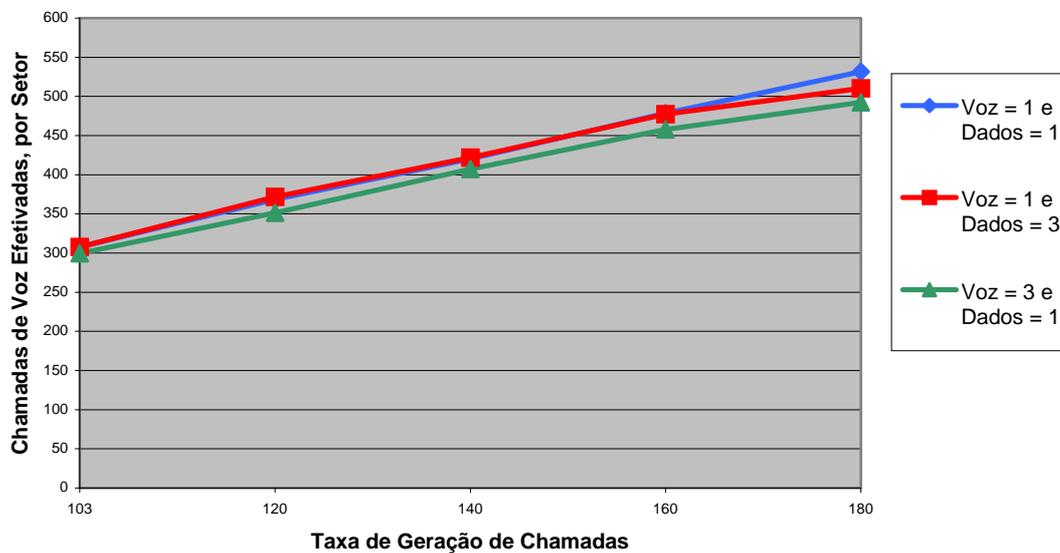


Figura 78 - Número Médio de Chamadas de Voz - *Algoritmo 1*

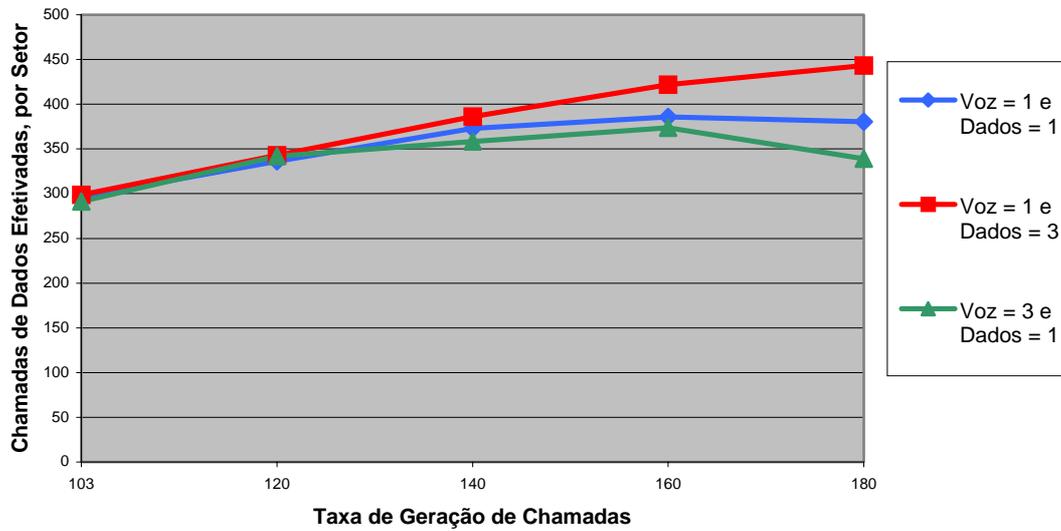


Figura 79 - Número Médio de Chamadas de Dados - *Algoritmo 1*

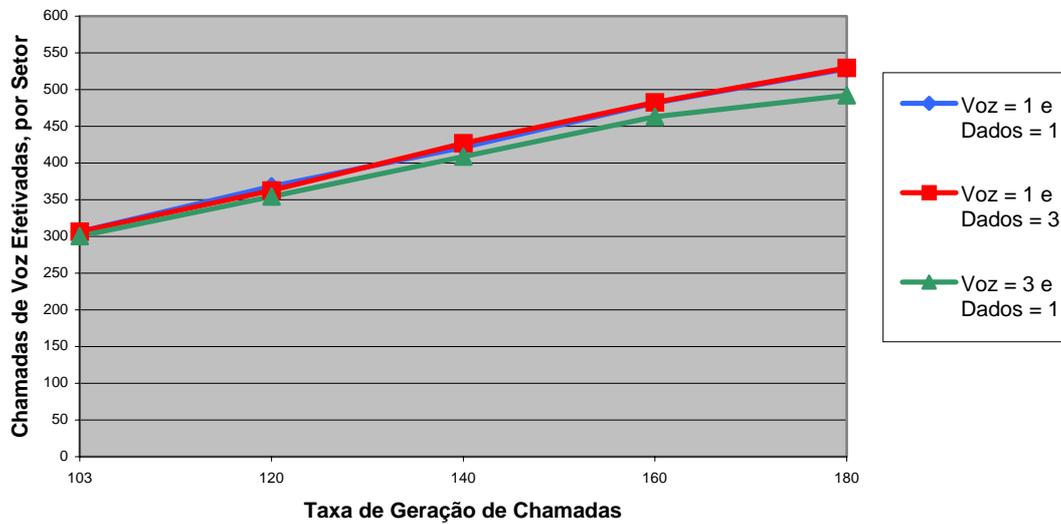


Figura 80 - Número Médio de Chamadas de Voz - *Algoritmo 2*

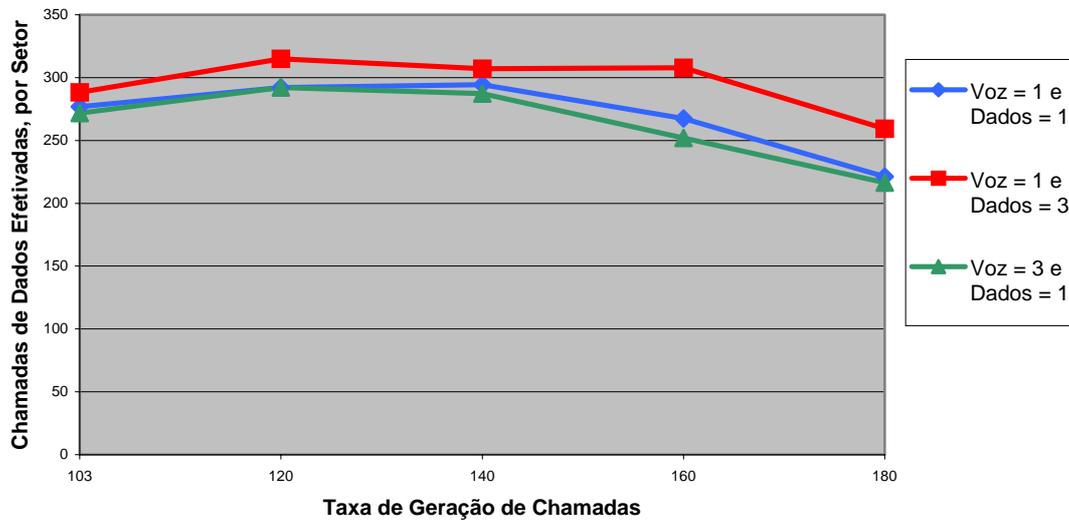


Figura 81 - Número Médio de Chamadas de Dados - *Algoritmo 2*

Pode-se verificar, pela análise dos gráficos de 74 a 81, que em todos os algoritmos de alocação de canais para a transmissão de dados nestas simulações, a estratégia que apresentou a melhor média de chamadas de voz e dados por hora foi a estratégia *Voz = 1 e Dados = 3*. Isto significa que as chamadas de voz tiveram apenas 1 tentativa de obtenção de um canal no estabelecimento ou no *handover* da chamada, e as chamadas de dados tiveram 3 tentativas de obtenção de um canal no estabelecimento ou no *handover* da chamada. Este ganho é explicado pelo pouco tempo em que os canais ficam alocados para uma transmissão de dados, como já mencionado na explicação da figura 45. Com as chamadas de dados possuem mais de 1 tentativa de alocar um canal no estabelecimento ou *handover* de uma chamada, a probabilidade desta tentativa ser bem sucedida é alta, já que os canais que estão transmitindo dados são liberados rapidamente.

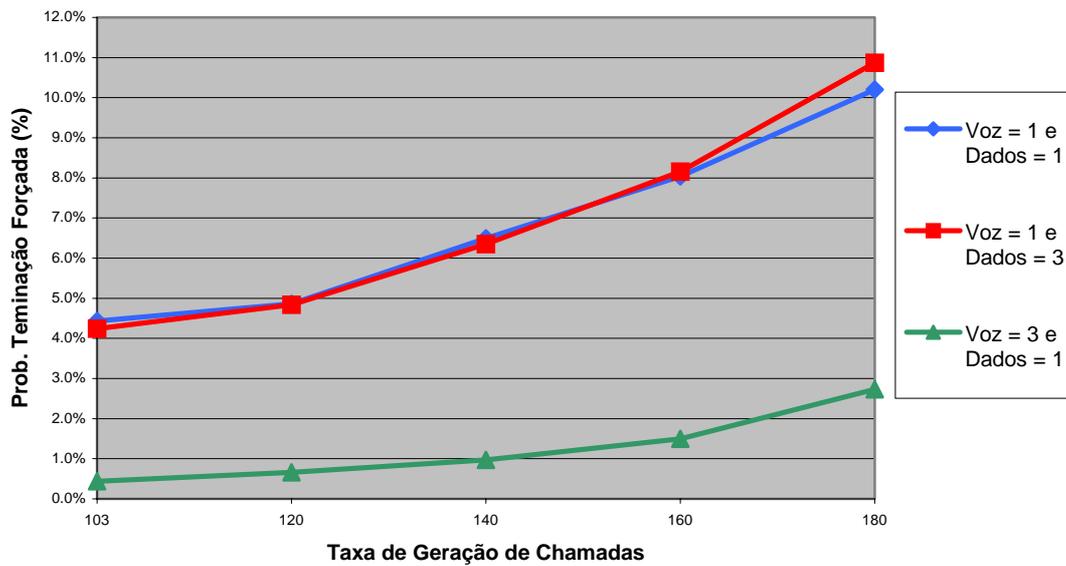
Da mesma forma, a estratégia que apresentou a pior média das chamadas de voz e dados por hora foi a estratégia *Voz = 3 e Dados = 1*. Estes resultados também são justificados levando-se em consideração o longo tempo (em média, 120 segundos) em que as chamadas de voz mantêm os canais alocados. Como as chamadas de voz possuem mais de 1 tentativa para obter um canal no

estabelecimento ou no *handover* da chamada, estas passam a possuir uma certa prioridade no sistema na hora da distribuição dos canais entre as chamadas de voz e dados.

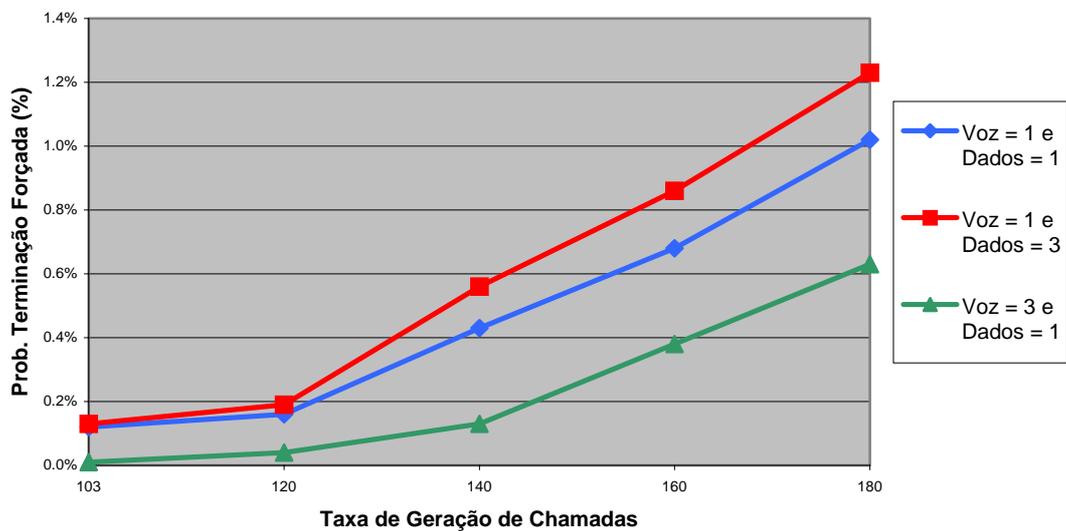
Analisando-se os resultados das simulações com tamanho fixo de pacote em 100 kbytes, pode-se afirmar também que o melhor caso foi o de  $Voz = 1$  e  $Dados = 3$  e o pior caso foi o de  $Voz = 3$  e  $Dados = 1$ , para a melhor e pior média de chamadas de voz e dados, respectivamente. Os gráficos destas simulações não foram anexados a esta dissertação por serem semelhantes aos gráficos 74 a 81, tornando-se desnecessários a sua visualização.

Levando-se em consideração as probabilidades de terminação forçada de uma chamada de voz e de uma chamada de dados para as simulações desta seção, apresentadas pelas figuras 82 a 89, os cenários de melhor e pior caso atribuídos anteriormente a  $Voz = 1$  e  $Dados = 3$  e  $Voz = 3$  e  $Dados = 1$  respectivamente, se invertem. Isto é, a melhor estratégia passa a ser  $Voz = 3$  e  $Dados = 1$  e a pior estratégia passa a ser  $Voz = 1$  e  $Dados = 3$ . Para as chamadas de voz, uma justificativa plausível para esta inversão da melhor e da pior estratégia fica por conta do número maior de tentativas de *handover* que uma chamada de voz possui na estratégia  $Voz = 3$  e  $Dados = 1$ . Este número de tentativas maior permite que a chamada de voz consiga obter um canal livre para realizar o *handover* e/ou consiga encerrar a chamada normalmente antes que a esta sofra uma terminação forçada pelo sistema. Esta última justificativa serve também para validar o porquê da inversão da pior e melhor estratégia para as chamadas de dados.

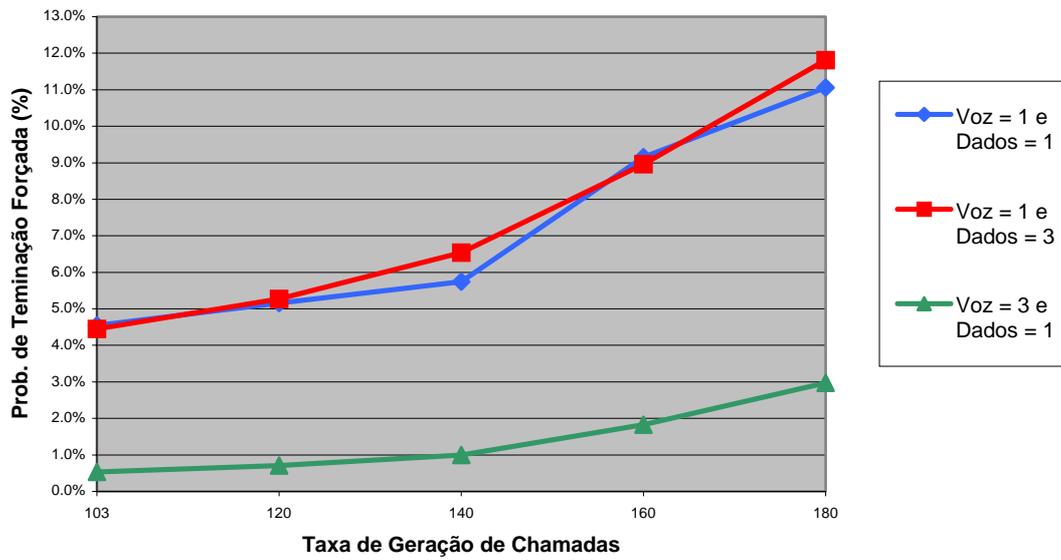
Este mesmo cenário de inversão da melhor e da pior estratégia também é verificado para as chamadas onde o tamanho do pacote de dados é fixo em 100 kbytes.



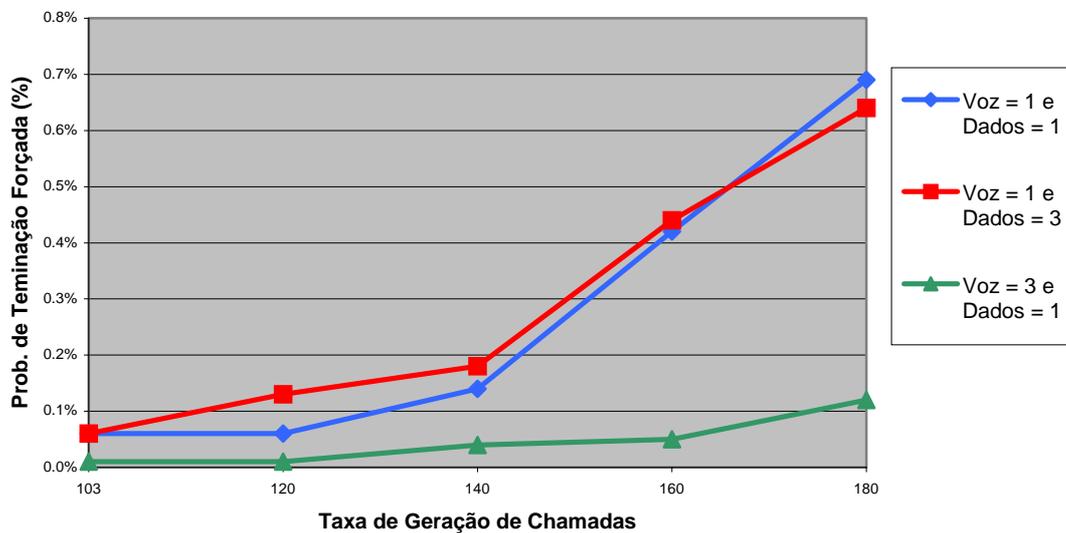
**Figura 82 - Probabilidade de Terminação Forçada para as Chamadas de Voz - Algoritmo 3 - Opção 1**



**Figura 83 - Probabilidade de Terminação Forçada para Chamadas de Dados - Algoritmo 3 - Opção 1**



**Figura 84 - Probabilidade de Terminação Forçada para Chamadas de Voz - Algoritmo 3 - Opção 2**



**Figura 85 - Probabilidade de Terminação Forçada para Chamadas de Dados - Algoritmo 3 - Opção 2**

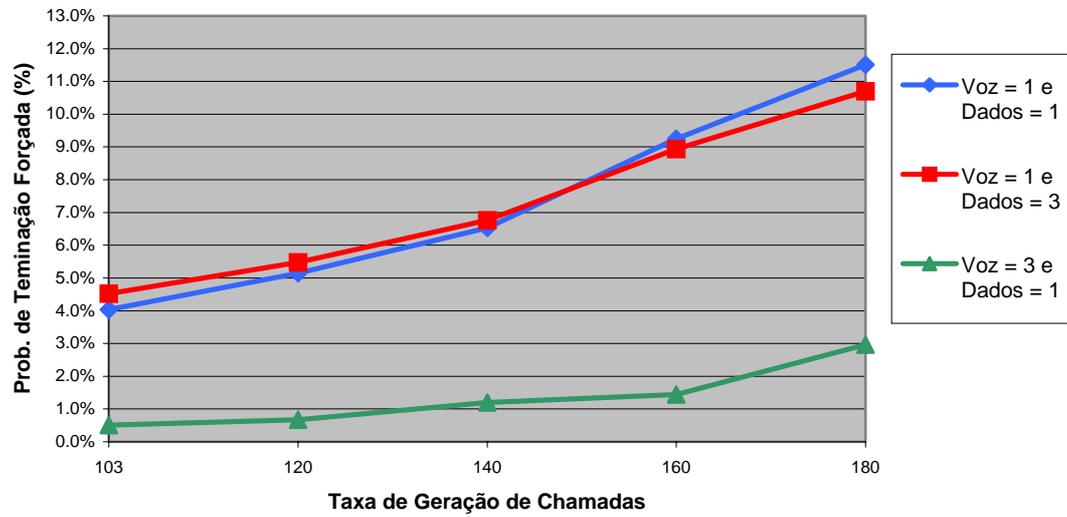


Figura 86 - Probabilidade de Terminação Forçada para Chamadas de Voz - *Algoritmo 1*

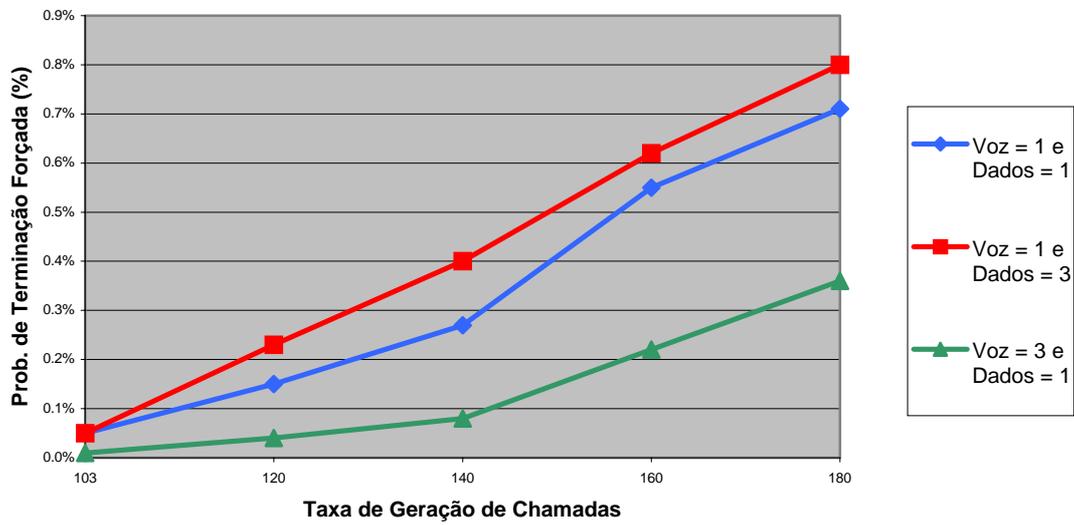
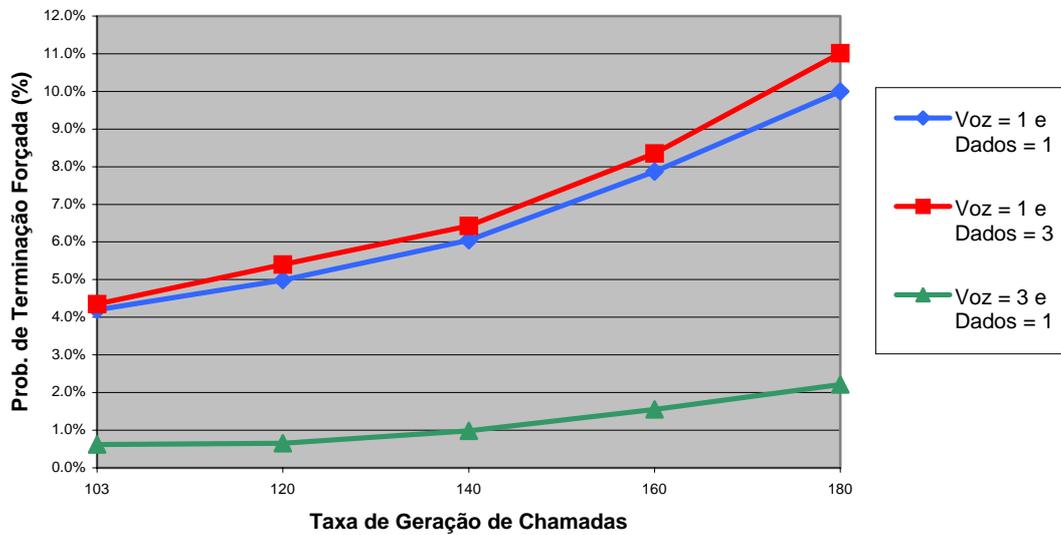
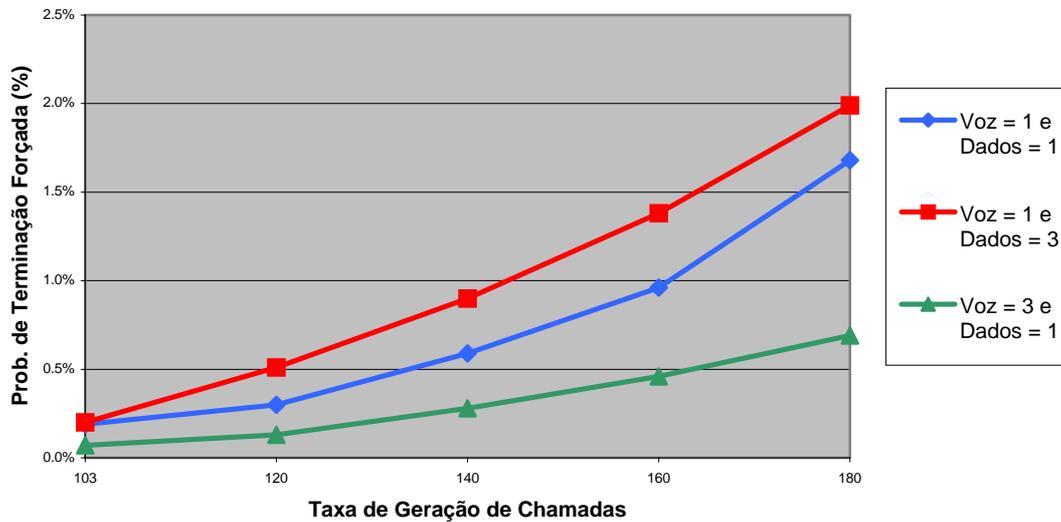


Figura 87 - Probabilidade de Terminação Forçada para Chamadas de Dados - *Algoritmo 1*



**Figura 88 - Probabilidade de Terminação Forçada para Chamadas de Voz - Algoritmo 2**



**Figura 89 - Probabilidade de Terminação Forçada Média para chamadas de Dados - Algoritmo 2**

Como visto pela análise dos gráficos de 74 a 81, a simulação da estratégia *Voz = 1 e Dados = 3* apresentou um ligeiro crescimento no número médio de chamadas de voz e dados, se comparados à estratégia *Voz = 1 e Dados = 1*. É

correto então supor que, como houve um crescimento no número de chamadas de dados, naturalmente o número de canais disponíveis no sistema deverá diminuir, já que crescerá a demanda por *slots* disponíveis. Logicamente, se a demanda por *slots* aumentar, a média de *slots* alocados para cada chamada diminuirá e, automaticamente a ineficiência do sistema também aumentará. Isto pode ser verificado pelas figuras 90 a 97, onde são apresentadas a ineficiência da transmissão e a média de *slots* alocados para a transmissão de dados para cada dos 3 algoritmos de alocação de canais de dados propostos nesta dissertação.

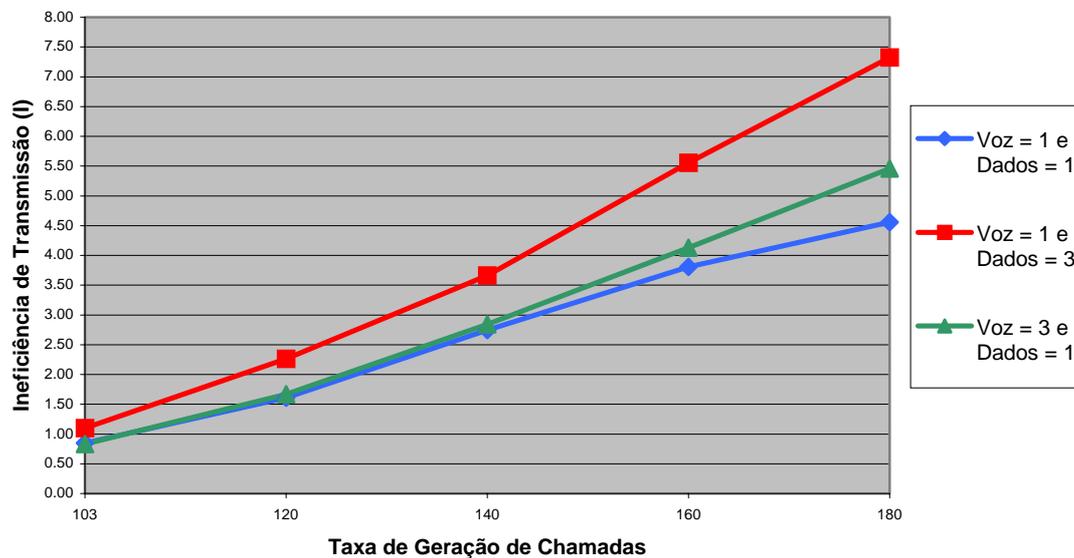


Figura 90 – Ineficiência de Transmissão de Dados no Sistema - *Algoritmo 3 -Opção 1*

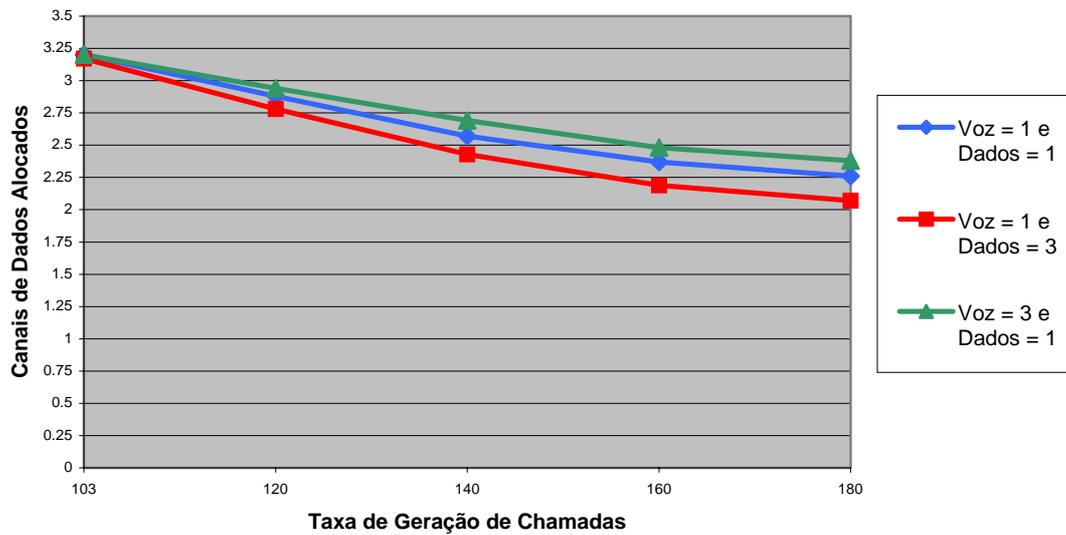


Figura 91 – Número Médio de Canais Alocados para Dados - *Algoritmo 3 -Opção 1*

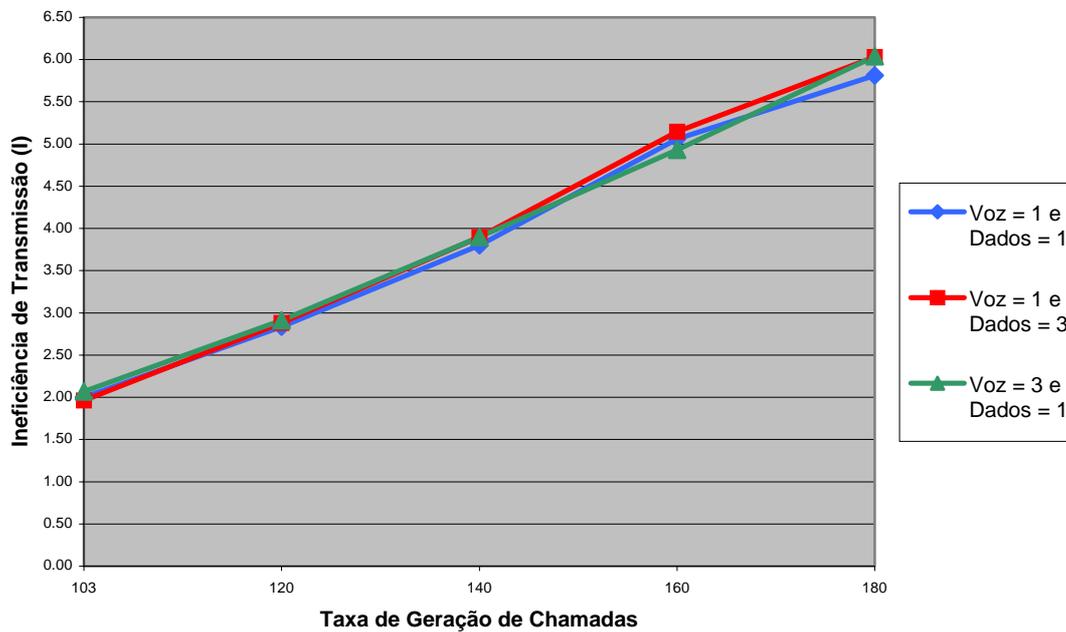


Figura 92 - Ineficiência de Transmissão de Dados no Sistema - *Algoritmo 3 -Opção 2*

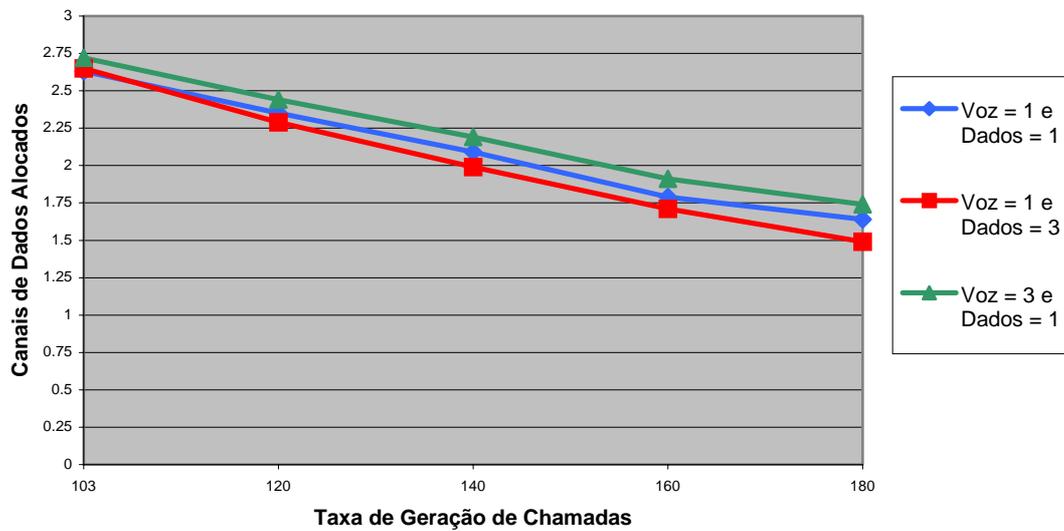


Figura 93 – Número Médio de Canais Alocados para Dados - *Algoritmo 3 -Opção 2*

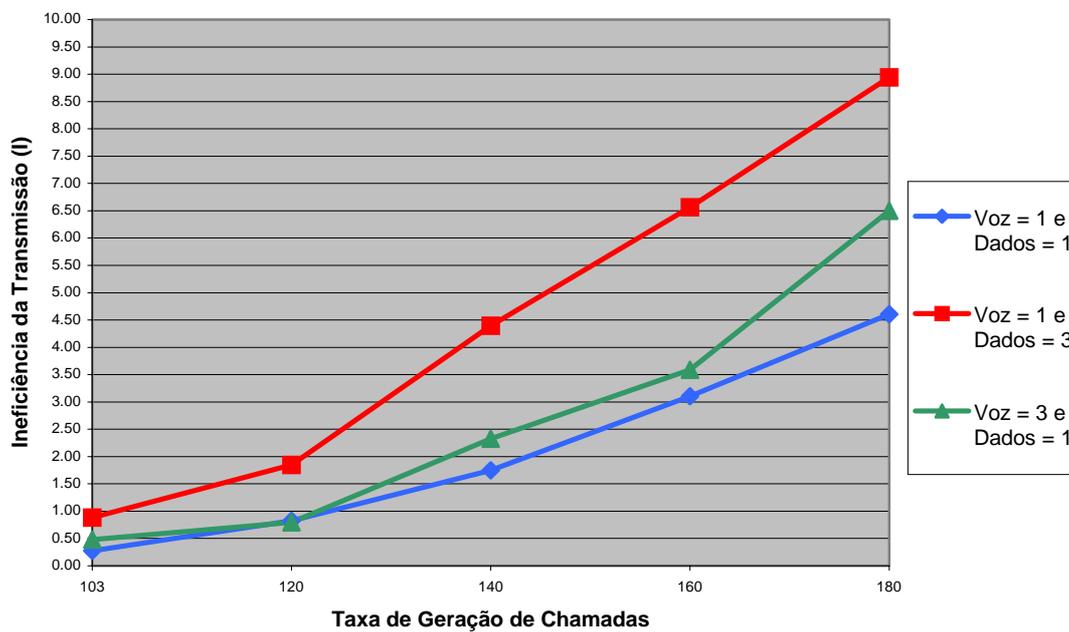


Figura 94 - Ineficiência de Transmissão de Dados no Sistema - *Algoritmo 1*

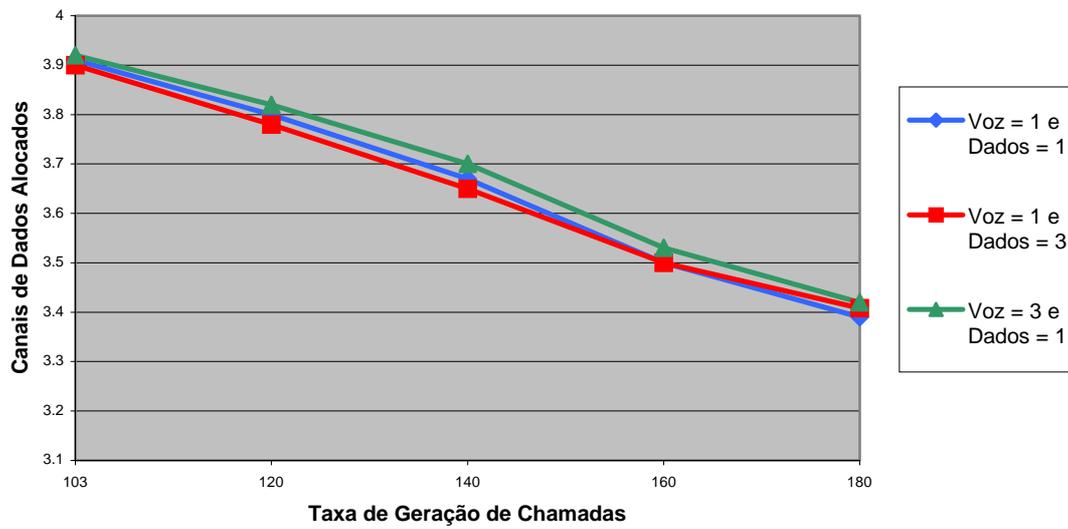


Figura 95 – Número Médio de Canais Alocados para Dados - *Algoritmo 1*

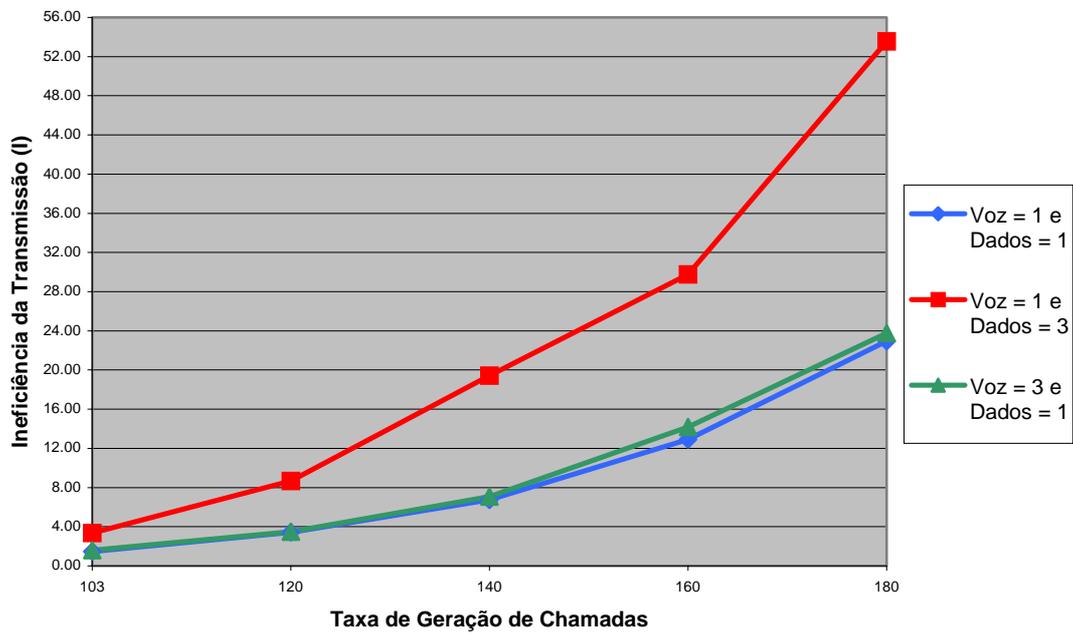
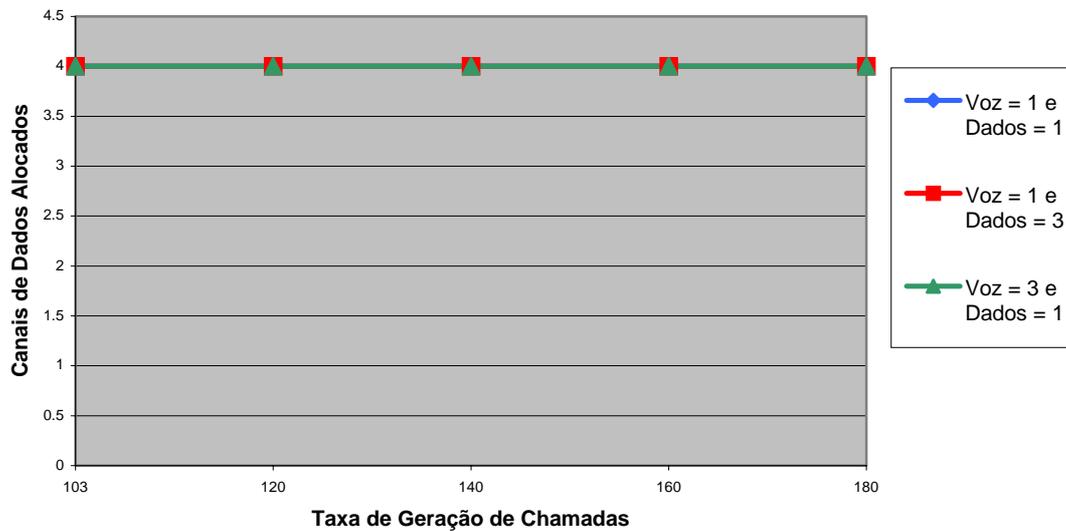


Figura 96 - Ineficiência de Transmissão de Dados no Sistema - *Algoritmo 2*



**Figura 97 – Número Médio de Canais Alocados para Dados – Algoritmo 2**

Para o caso de chamadas com tamanho de pacote fixo em 100 kbytes foi verificado o mesmo acontecimento descrito no parágrafo anterior. Portanto, a suposição feita anteriormente para Pareto também é válida para o tamanho de pacote fixo em 100 kbytes.

Já que ambos os casos possuem gráficos com a mesma escala de igualdade, torna-se desnecessário a inserção dos mesmos com tamanho de pacote fixo em 100 kbytes nesta dissertação.