

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA  
TESE DEFENDIDA POR DANIEL PRADO

..... E APROVADA  
PELA COMISSÃO JULGADORA EM 31/03/2011

*Reinaldo Santos Mendes*  
.....  
ORIENTADOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

Daniel Prado

# **Algoritmos de Handoff Vertical para Sistemas de Comunicação GPRS/ Satélite**

Campinas, 2011

Daniel Prado

# **Algoritmos de Handoff Vertical para Sistemas de Comunicação GPRS/ Satélite**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Automobilística.

Área de Concentração: Eletrônica

Orientador: Prof. Dr. Rafael Santos Mendes

Campinas  
2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

P882a Prado, Daniel  
Algoritmos de handoff vertical para sistemas de  
comunicação GPRS/ Satélite / Daniel Prado. --  
Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Rafael Santos Mendes.  
Dissertação de Mestrado (Profissional) -  
Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de  
Engenharia Mecânica.

1. Algoritmos. 2. Satélite. 3. Teoria das  
probabilidades. 4. Probabilidades. 5. Markov, Processos  
de. I. Mendes, Rafael Santos. II. Universidade Estadual  
de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III.  
Título.

Título em Inglês: Vertical handoff algorithms for communication systems GPRS  
/Satellite

Palavras-chave em Inglês: Algorithms, Satellite, Theory of probabilities,  
Probabilities, Markov processes

Área de concentração: Eletrônica

Titulação: Mestre em Engenharia Automobilística

Banca examinadora: Carlos Alberto dos Reis Filho, João Bosco Ribeiro do Vale

Data da defesa: 31/03/2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Mecânica

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONAL

**“Algoritmos de Handoff Vertical para  
Sistemas de Comunicação GPRS/ Satélite”**

Autor: **Daniel Prado**

Orientador: **Prof. Dr. Rafael Santos Mendes**

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Rafael Santos Mendes (Orientador)**  
Universidade/Unidade: UNICAMP/FEEC/DCA

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Carlos Alberto dos Reis Filho**  
Universidade/Unidade: UNICAMP/FEEC/DSIF

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. João Bosco Ribeiro do Val**  
Universidade/Unidade: UNICAMP/FEEC/DT

Campinas, 31 de março de 2011.

A Deus, razão maior de toda a nossa existência, que sempre nos ajuda nos momentos de maior  
dificuldade da nossa vida.

Aos meus pais, Osmar e Márcia. A vocês dedico todo o meu amor e a responsabilidade por me  
iniciar e incentivar nos estudos que permitiram eu chegar até este patamar da minha vida pessoal  
e profissional.

A minha amada esposa Janaína, cujo companheirismo, paciência e incentivos foram  
fundamentais para permitir a execução e conclusão deste trabalho.

## **Agradecimentos**

Ao meu orientador, professor Dr. Rafael Santos Mendes que se portou como só o fazem os mestres. Acreditando no meu trabalho, deu-me a liberdade necessária dividindo comigo as expectativas, conduzindo-me a maiores reflexões e desta forma enriquecendo o resultado final. Minha especial admiração e gratidão.

Ao professor Dr. Maurício Ferreira Magalhães que contribuiu de forma fundamental com informações e sugestões que direcionaram este trabalho para direção correta. Meus agradecimentos por tantas contribuições.

Aos professores coordenadores do Mestrado Profissional em Eletrônica da UNICAMP e ITA, sempre atenciosos e preocupados com a qualidade do ensino e funcionamento do curso. Parabéns-lhes pelo grau de compromisso e dedicação. Meus agradecimentos por tantas contribuições.

Aos meus caros colegas do Mestrado Profissional em Eletrônica, pelos momentos de convívio e ajuda mútua durante o período de aulas, em especial ao meu colega Carlos Verre Junior, companheiro de muitos estudos e trabalhos.

Ao pessoal da Secretaria Acadêmica - CPG/FEM, em especial a Denise pela eficiência, dedicação e simpatia. Meu muito obrigado.

Aos meus colegas Mats Axelsson, Magnus Brolin e Bernt Andersson da Scania CV AB na Suécia, que possibilitaram a realização deste trabalho através da proposição do problema, obtenção de informações e explicações de resultados. Meu muito obrigado.

De forma especial, agradeço aos meus pais por sempre me apoiarem e me incentivarem em minhas decisões; à minha amada esposa Janaína pela compreensão e apoio ao longo de todo o período acadêmico compreendendo o meu mau humor em determinados momentos deste trabalho, com sabedoria. Meus agradecimentos com imenso carinho.

A Deus, por ter me iluminado em mais uma jornada e, finalmente, a todos que, de uma forma ou de outra, me ajudaram a chegar até aqui, o meu muito obrigado.

"Na vida, ninguém fracassa tanto quanto acredita nem tem  
todo sucesso que imagina"

(Joseph Rudyard Kipling)

## **Resumo**

Este projeto tem por objetivo estudar um problema de projeto para realizar o handoff vertical entre canais de comunicação GPRS e Satélite em um cenário que otimize o tempo e o custo através de equações probabilísticas.

Através de um modelo de estados que descreve as diferentes possibilidades de comunicação entre sistemas GPRS e Satélite, o objetivo é determinar os tempos dos eventos controláveis que fazem a mudança entre os estados de modo a otimizar o tempo de comunicação num cenário probabilístico de handoff vertical entre canais de comunicação.

Os resultados das simulações realizadas nesta dissertação em diferentes situações de qualidade dos sinais de transmissão GPRS e Satélite, mostram que através dos algoritmos de handoff desenvolvidos, a probabilidade estacionária de permanência nos estados de transmissão é aumentada.

*Palavras Chave:* Algoritmos, GPRS, Satélite, Equações Probabilísticas, Markov, Custo, Tempo, Sistemas de Comunicação, Eventos Controláveis, Chaveamento, Handoff, Handover

## **Abstract**

This project aims to study a design problem to carry-out the handoff vertical of communication between communication channels GPRS and Satellite in a scenario that optimizes time and cost by probabilistic equations.

Through a state model that describes the different possibilities of communication between GPRS and satellite systems, the goal is to set the times of the controllable events that do the changes between states in order to optimize the communication time in a probabilistic scenario of handoff vertical for communication channels.

The results of the simulations in this work in different situations, quality of transmission signals GPRS and Satellite, show that through the handoff algorithms developed, the stationary probability of staying in the states of transmission is increased.

*Key Words:* Algorithms, GPRS, Satellite, Probabilistic Equations, Markov, Cost, Time, Communication Systems, Controllable events, Switching, Handoff, Handover

## Lista de Figuras

Figura 1: Diagrama de transição de estados .....	10
Figura 2: Diagrama de transição de estado.....	14
Figura 3: Esquema de simulação da técnica de simulação orientada a evento.....	17
Figura 4: Definições e Diagrama da Máquina de estados .....	22
Figura 5: Diagrama da Máquina de estados com eventos .....	24
Figura 6: Diagrama da Máquina de estados com numeração dos eventos .....	28
Figura 7: Sistema de Comunicação GPRS/ Satélite e o Algoritmo de Controle.....	33
Figura 8: Exemplo de movimento aleatório de um veículo.....	35
Figura 9: Rede de antenas no plano.....	36
Figura 10 : Probabilidade da disponibilidade do sinal GPRS .....	37
Figura 11: Função exponencial envoltória para o evento GRF .....	39
Figura 12: Seqüência de variação da qualidade do sinais de transmissão.....	58
Figura 13: Seqüência de variação da qualidade do sinais de transmissão.....	59
Figura 14: Sintonia entre o controle ótimo e o controle obtido através de estimação.....	64

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Valores propostos de $\lambda$ para simulações com distribuição exponencial.....	41
Tabela 2: Valores propostos de parâmetros para simulações com distribuição empírica .....	41
Tabela 3 - Pares de sistemas de transmissão .....	42
Tabela 4 - Simulações 1.....	44
Tabela 5 - Simulação 1 na Condição 333 -Nº1 .....	45
Tabela 6 - Simulação 1 na Condição 333 -Nº2 .....	45
Tabela 7 - Simulação 1 na Condição 333 -Nº3 .....	45
Tabela 8 - Simulação 1 na Condição 233 -Nº4 .....	46
Tabela 9 - Simulação 1 na Condição 233 -Nº5 .....	46
Tabela 10 - Simulação 1 na Condição 233 -Nº6 .....	46
Tabela 11 - Simulação 1 na Condição 131 -Nº7 .....	47
Tabela 12 - Simulação 1 na Condição 131 -Nº8 .....	47
Tabela 13 - Simulação 1 na Condição 131 -Nº9 .....	47
Tabela 14 - Simulação 1 na Condição 121 -Nº10 .....	48
Tabela 15 - Simulação 1 na Condição 121 -Nº11 .....	48
Tabela 16 - Simulação 1 na Condição 121 -Nº12 .....	48
Tabela 17 - Simulação 1 na Condição 313 - Nº13 .....	49
Tabela 18 - Simulação 1 na Condição 313 - Nº14 .....	49
Tabela 19 - Simulação 1 na Condição 313 - Nº15 .....	49
Tabela 20 - Simulações 2.....	51
Tabela 21 - Simulação 2 na Condição 333 -Nº16 .....	52
Tabela 22 - Simulação 2 na Condição 333 -Nº17 .....	52
Tabela 23 - Simulação 2 na Condição 333 -Nº18 .....	52
Tabela 24 - Simulação 2 na Condição 233 -Nº19 .....	53
Tabela 25 - Simulação 2 na Condição 233 -Nº20 .....	53
Tabela 26 - Simulação 2 na Condição 233 -Nº21 .....	53
Tabela 27 - Simulação 2 na Condição 131 -Nº22 .....	54
Tabela 28 - Simulação 2 na Condição 131 -Nº23 .....	54
Tabela 29 - Simulação 2 na Condição 131 -Nº24 .....	54
Tabela 30 - Simulação 2 na Condição 121 -Nº25 .....	55
Tabela 31 - Simulação 2 na Condição 121 -Nº26 .....	55
Tabela 32 - Simulação 2 na Condição 121 -Nº27 .....	55
Tabela 33 - Simulação 2 na Condição 313 -Nº28 .....	56
Tabela 34 - Simulação 2 na Condição 313 -Nº29 .....	56
Tabela 35 - Simulação 2 na Condição 313 -Nº30 .....	56
Tabela 36 – Simulação 3 – Condição 333 – Estágio 1 – Nº 31 .....	60
Tabela 37 – Simulação 3 – Condição 232 – Estágio 2 – Nº 32 .....	60
Tabela 38 – Simulação 3 – Condição 131 – Estágio 3 – Nº 33 .....	60
Tabela 39 – Simulação 3 – Condição 121 – Estágio 4 – Nº 34 .....	60
Tabela 40 – Simulação 3 – Condição 313 – Estágio 5 – Nº 35 .....	60
Tabela 41 – Simulação 3 – Média dos 5 Estágios – Nº 36 .....	61

Tabela 42 – Simulação 3 – Condição 333 – Estágio 1 – N° 37 .....	62
Tabela 43 – Simulação 3 – Condição 232 – Estágio 2 – N° 38 .....	62
Tabela 44 – Simulação 3 – Condição 131 – Estágio 3 – N° 39 .....	62
Tabela 45 – Simulação 3 – Condição 121 – Estágio 4 – N° 40 .....	62
Tabela 46 – Simulação 3 – Condição 313 – Estágio 5 – N° 41 .....	62
Tabela 47 – Simulação 3 – Média dos 5 Estágios – N° 42 .....	63

# Índice

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	viii
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	x
1. Introdução	1
2. Situação do problema	7
2.1. Proposta de solução	7
3. Ferramentas	9
3.1 Máquinas de Estados ou Autômatos [1]	9
3.2 Cadeias de Markov	14
3.3 Simulação Orientada a Eventos	16
4. Análise do Problema do Handoff e Síntese do Controlador	20
4.1 Introdução	20
4.2 Formulação e solução do problema idealizado	20
4.3 Modelos Estocásticos de Temporização	33
4.3.1 Modelos para o sinal GPRS	34
4.3.2 Evento GRF	38
4.3.2 Outros eventos não-controláveis	39
5. Validação e Resultados	40
5.1 Baterias de Simulações 1	44
5.1.1 Simulação Tipo 1 – Condição 333	45
5.1.2 Simulação Tipo 1 – Condição 233	46
5.1.3 Simulação Tipo 1 – Condição 131	47
5.1.4 Simulação Tipo 1 – Condição 121	48
5.1.5 Simulação Tipo 1 – Condição 313	49
5.2 Baterias de Simulações 2	51
5.2.1 Simulação Tipo 2 – Condição 333	52
5.2.2 Simulação Tipo 2 – Condição 233	53
5.2.3 Simulação Tipo 2 – Condição 131	54
5.2.4 Simulação Tipo 2 – Condição 121	55
5.2.5 Simulação Tipo 2 – Condição 313	56
5.3 Baterias de Simulações 3	58
5.3.1 Resultados das Simulações do Tipo 3 com controle dinâmico	60
5.3.2 Resultados das Simulações do Tipo 3 com controle fixo	62
6. Conclusões	66
Referências	67

# 1. Introdução

A Scania CV AB tem um sistema de gerenciamento de frotas no mercado global responsável por coletar informações de operação de veículos comerciais vendidos por ela no mercado. As informações coletadas são transferidas via comunicação GPRS para um servidor de dados que as disponibiliza para um usuário final via Internet. Este trabalho de mestrado nasce da necessidade da empresa encontrar uma alternativa de comunicação ao GPRS e definir algoritmos responsáveis pelo handoff entre duas tecnologias de comunicação.

As redes de comunicação sem fio têm por objetivo prover acesso universal e constante de serviços de conexão de banda larga, em qualquer lugar, e através de redes heterogêneas usando qualquer terminal.

As redes de banda larga sem fio podem incorporar inúmeros tipos de tecnologia incluindo múltiplas tecnologias de celular, wireless LAN e até Bluetooth. Combinando todas as tecnologias baseadas em IP, as redes de banda larga sem fio podem prover acesso em ambientes móveis de alta e baixa velocidade. Desta forma o ideal é prover acesso ao usuário sem interrupção às redes de banda larga sem fio. Este acesso que pode variar entre sistemas de telefonia celular, redes sem fio regionais e sistemas de comunicação via rádio, televisão ou satélite. Estas redes devem combinar da melhor forma várias tecnologias para melhorar o serviço para o cliente. Se há disponibilidade de apenas um tipo de rede de banda larga de comunicação podem ocorrer limitações que envolvem capacidade da rede, custo e área de cobertura. [4]. Portanto, apenas sistemas híbridos de tecnologias de comunicação sem fio podem prover adequadamente um serviço móvel e econômico de banda larga.

O procedimento que trata da transição de uma unidade móvel de uma célula para outra de forma transparente e contínua para o utilizador é conhecido como **Handoff** ou **Handover** sendo que o segundo termo é mais utilizado na Europa. Temos dois tipos de handoff: O vertical e o horizontal. O handoff vertical ocorre quando a unidade móvel chaveia de uma rede para outra (por exemplo: Do WLAN para o 3G). Além das comparações da intensidade dos sinais das diferentes redes, o handoff vertical deve avaliar fatores adicionais, tais como, custo, serviços oferecidos, condições da rede e preferências do usuário da rede. [5] Ela é diferente do handoff horizontal que ocorre quando a unidade móvel move de uma estação base para outra dentro da mesma rede de acesso (por exemplo: Um aparelho de celular que move por diferentes coberturas

de antenas dentro de uma rede de voz ou de dados 3G). Na literatura, handoff vertical é também mencionado como *handoff intersystem*, enquanto o handoff horizontal é mencionado como *handoff intrasystem*.

Em redes heterogêneas, a necessidade de handoff vertical pode ser inicializada por razões de conveniência do que por razões de conectividade (por exemplo: em um certa área temos cobertura de redes GPRS e Satélite mas por uma questão de custo pode ser mais interessante fazer um handoff para rede GPRS). Dois dos maiores desafios no gerenciamento de um handoff vertical são a continuidade e os aspectos de automação no chaveamento da rede. Estes requerimentos específicos podem se referir ao conceito ABC, onde o objetivo é estar conectado da melhor maneira em um ambiente de tecnologias de múltiplo acesso. O conceito ABC – Always Best Connected é considerado um dos principais requisitos para próxima geração de redes. Este conceito permite que uma pessoa tenha acesso para aplicações utilizando dispositivos e tecnologias de rede que melhor se adapte às suas necessidades ou perfil a qualquer momento. Isso irá requerer a combinação de um conjunto de tecnologias novas e existentes em todos os níveis de um protocolo, em um sistema integrado. Desta forma uma técnica de gerenciamento do handoff vertical deve escolher um tempo apropriado para iniciar o handoff e o acesso mais adequado à rede para um serviço específico entre todos os disponíveis mantendo a continuidade do serviço. [7] e [8]

O processo de handoff vertical envolve três fases principais: *descoberta do sistema*, *decisão do handoff vertical* e *execução do handoff vertical*. Redes de diferente tipos de acesso podem estar posicionadas dentro da mesma área de cobertura.

Durante a fase de *descoberta do sistema*, a unidade móvel determina quais redes podem ser utilizadas e quais serviços estão disponíveis em cada rede. Estas redes podem também informar as taxas dos dados disponíveis e os parâmetros de qualidade do serviço (QoS) para diferentes serviços. Como os usuários são móveis, a disponibilidade das redes podem depender da localização do usuário. A taxa de tráfego na rede também pode se alterar com o tempo. Desta forma esta primeira fase pode vir a acontecer periodicamente.

Na fase de *decisão do handoff vertical*, a unidade móvel determina se as conexões deveriam continuar a utilizar a rede selecionada ou ser chaveada para uma outra rede. A decisão pode depender de diversos parâmetros incluindo o tipo da aplicação (por exemplo, voz, dados, streaming de mídia, interativo, background), largura de banda mínima e atraso requerido pela

aplicação, custo de acesso, potência da transmissão, status da bateria do terminal móvel e as preferências do usuário.

Durante a fase de *execução do handoff vertical*, as conexões são redirecionadas da rede atual para uma outra de maneira contínua. Este fase também inclui autenticação, autorização e a transferência do contexto da informação. Como a unidade móvel pode estar ainda em comunicação na rede atual enquanto a execução do handoff acontece, ainda há tempo para a rede executar as funções necessárias que pode minimizar interrupções da rede.

A fim de estimar as condições de redes sem fio heterogêneas, o grupo de trabalho do IEEE 802.21 Media Independent Handover (MIH) está desenvolvendo padrões para possibilitar operações eficientes de handoff, e fornecer a possibilidade de interoperações entre redes sem fio heterogêneas. Isto inclui as redes sem fio 802 e não 802 (por exemplo, 3GPP e 3GPP2). O esboço do projeto para o padrão IEEE 802.21 se baseia em um conjunto de funções para habilitação do handoff dentro do protocolo de gerenciamento da mobilidade, e de uma nova entidade de rede chamada de função MIH (MIHF). A MIHF fornece três serviços: Serviço de Eventos de Mídia Independente (MIES), Serviço de Comando de Mídia Independente (MICS) e o Serviço de Informação de Mídia Independente (MIIS).

O MIES fornece a classificação do evento, a filtragem do evento e o relatório do evento correspondente as alterações dinâmicas nas características do link, status e qualidade.

O MICS fornece um conjunto de comandos que habilita usuários do MIH enviar comandos para controle do handoff e mobilidade.

O MIIS fornece a capacidade de obter a informações necessárias para executar uma decisão efetiva de handoff. Tais informações incluem detalhes das características e serviços fornecidos pelas redes em operação ou que tem coberturas superpostas. A unidade móvel pode acessar a informação necessária pela interface com a rede que está ativa no momento. Como as outras interfaces não precisam ser ligadas simultaneamente, no caso da unidade móvel ter uma bateria, esta poderá ser preservada. O MIIS define um conjunto de elementos de informações (IEs) para fornecer acesso para informações estática/ dinâmica e serviços de camada mais alta que serão suportados pela rede. O primeiro grupo fornece um resumo de todas as redes disponíveis dentro da área de cobertura. Dentre estas informações pode-se incluir a lista das redes disponíveis, custos de acesso e recursos de segurança. O segundo grupo fornece informações sobre as estações de base e/ou pontos de acesso para cada rede superposta. O IE inclui informações de

endereçamento, localização das estações de base e/ou pontos de acesso, taxas de dados suportadas e um conjunto do link e parâmetros de qualidade QoS (por exemplo, taxa dos dados, atraso, jitter). Pode incluir também os serviços de camada mais alta oferecido pelas redes (por exemplo, VOIP). Finalmente o último grupo inclui outras informações relevantes que são específicas da operadora. [6]

Neste trabalho iremos explorar a necessidade do handoff vertical em um sistema de gerenciamento de frotas montado em veículos comerciais. Este sistema é composto de uma unidade eletrônica montada no veículo comercial. Esta unidade possui um módulo de comunicação que envia informações de operação coletadas do veículo via uma rede de telecomunicações para um servidor de dados. Este servidor irá gerenciar as informações e disponibilizar via internet para os usuários que assinarem o serviço. Inicialmente o sistema de gerenciamento de frotas foi projetado para trabalhar em uma rede de telecomunicações GPRS. A rede GPRS opera satisfatoriamente onde há cobertura da operadora de comunicação GPRS. Isto acontece normalmente em grandes centros, auto-estradas e alta densidade populacional. Quando se vai para o interior de países com coberturas restritas e utiliza-se de pequenas estradas em regiões de baixa densidade populacional, a cobertura GPRS pode diminuir bastante e até inexistir.

Com o objetivo de atender toda a sua gama de clientes que operam em diferentes tipos de atividades de transporte, países e regiões com grande ou baixa densidade populacional, a empresa tem procurado encontrar alternativas de sistema de comunicação ao GPRS.

Uma alternativa de sistema de comunicação que pode atender a demanda da empresa e que é largamente difundida no mercado mundial é a comunicação via satélite. O sistema de comunicação via satélite é utilizado para transmitir diversos tipos de informação sendo que também é utilizado largamente na área de transportes para gerenciamento de frotas e risco. Apesar do alto custo de comunicação e hardware (modem + antena) em comparação a comunicação GPRS, a comunicação via satélite tem a grande vantagem de estar disponível em regiões onde não há presença do GPRS constituindo-se portanto em uma excelente alternativa de comunicação.

Esta alternativa de comunicação nos leva a trabalhar na concepção e parametrização de um algoritmo para fazer o handoff entre os sistemas de comunicação GPRS e Satélite.

Dentre problemas parecidos, podemos citar como exemplo alguns algoritmos que utilizam a mesma estratégia de programação do algoritmo de controle e até problemas semelhantes para handoff vertical em redes GPRS e satélite.

Em [6] temos uma situação onde o objetivo é determinar sobre quais condições o handoff vertical deve ser executado. Neste caso o problema é formulado como um processo de decisão de Markov com o objetivo de maximizar o prêmio esperado por conexão. Os recursos da rede utilizados pela conexão são capturados por uma função de recompensa de conexão. Um custo de sinalização é utilizado para modelar a sinalização e a carga de processamento efetuada na rede quando o handoff vertical é executado. Um algoritmo de iteração de valor é usado para calcular uma política estacionária determinística. Para uma avaliação do desempenho deste algoritmo foram utilizadas aplicações de voz e dados. Neste caso os resultados mostraram que o esquema proposto apresentou um desempenho melhor que outros algoritmos de decisão para o handoff vertical tais como: Ponderação Aditiva Simples (SAW) [10], Técnica de Ordem de Preferência por Similaridade para Solução Ideal (TOPSIS) [10], e Análise Relacional Grey (GRA) [11].

Na seqüência veremos em maiores detalhes que no nosso algoritmo também foi aplicado o conceito de cadeias de Markov com o objetivo de determinar a possibilidade de estar em qualquer estado em qualquer instante e que os estados anteriores são irrelevantes para a predição dos estados seguintes, desde que o estado atual seja conhecido.

Em [9] temos uma proposta de algoritmo que passa pela mesma situação que encontramos em nosso problema onde temos uma rede celular 3G (UMTS - Universal Mobile Telecommunication System) e uma rede de satélites de baixa órbita (LEO). O objetivo neste caso é fazer uma integração entre a rede UMTS e rede LEO de modo a permitir que telefones celulares tenham uma cobertura global em qualquer lugar e em qualquer momento usando rede LEO em áreas remotas e sem cobertura pelas redes UMTS. Para o funcionamento deste sistema de comunicação entre as redes são propostos uma arquitetura de rede é proposta e um algoritmo de handoff vertical (VHDA) que irá decidir quando é o melhor momento para executar um handoff vertical dentro de uma área superposta pelas duas redes de comunicação. O VHDA irá depender de dois fatores principais: da Qualidade do Serviço (QoS) de ambas as redes e do custo para fazer os handoffs. As redes UMTS são bem equipadas para comunicação via telefone celular. Entretanto algumas áreas remotas não são cobertas pela redes UTMS tais com áreas rurais ou pântanos. Além disso o sistema pode ser facilmente sobrecarregado em emergências

generalizadas tais como desastres naturais. Por outro lado as redes de satélite LEO ganham enorme importância sendo que elas oferecem roaming contínuo e global, alta taxa de transmissão (até 1Gbps) e não encontram o problema de saturação da rede por causa da alta capacidade disponível. Embora o custo dos serviços e o atraso ainda são altos, eles são relativamente aceitáveis. Estas redes podem também evitar os danos causados por desastres naturais e críticos neste tipo de situação. Também é provado que sistemas de comunicações híbridas têm melhor performance que sistemas celulares stand-alone para bloqueio e performance do handoff. Assim o objetivo é integrar as redes de satélites LEO com as redes UTMS existentes a fim de combinar os melhores recursos e performances e prover acesso a qualquer momento em qualquer lugar com uma melhor qualidade do serviço. No caso estudado algumas áreas tem apenas cobertura de satélite LEO e outras tem ambas coberturas UTMS e LEO. Embora semelhante, este problema difere do abordado neste trabalho por diversos aspectos. Por um lado, o problema de handoff aqui tratado não apresenta custos de chaveamento e por outro lado é de menor importância prática uma medida direta da qualidade do serviço. Portanto outra abordagem, adaptada à realidade da aplicação é proposta neste trabalho.

Esta dissertação está organizada da seguinte forma: No capítulo 2 temos uma descrição do problema onde os dois meios de comunicação GPRS e Satélite são apresentados e a necessidade do handoff vertical entre os dois meios de comunicação. Na seção 2.1 será apresentada uma proposta de solução para o problema do handoff vertical. No capítulo 3 será feita uma introdução teórica dos conceitos e principais ferramentas que serão utilizadas na dissertação que passa pelos conceitos de máquina de estados, cadeias de Markov e simulações orientadas a eventos. No capítulo 4 será proposto um modelo para o funcionamento do sistema de handoff vertical descrito neste capítulo. Isto será feito passando pela formulação e solução do problema idealizado e a descrição dos modelos estocásticos de temporização. No capítulo 5 serão apresentadas através de simulações e respectivas análises a conveniência desta abordagem, finalizando pelas conclusões apresentadas no capítulo 6, e as referências utilizadas no capítulo 7.

## **2. Situação do problema**

O problema em estudo envolve dois meios de comunicação. Um deles, o sistema de comunicação GPRS é preferencial porque é mais barato, o segundo, o sistema de comunicação Satélite também é importante como segunda fonte de comunicação, pois tem ampla cobertura global e alta disponibilidade. Dentro deste contexto deve-se saber como fazer o handoff vertical entre os dois meios de comunicação. Não é recomendável chavear aleatoriamente entre os dois sistemas sendo que isto pode significar altos custos e nem sempre a melhor disponibilidade de comunicação. Desta forma algumas precauções deverão ser tomadas. Em primeiro lugar optou-se por definir o sistema de comunicação como uma máquina de estados, de modo a explicitar as possíveis etapas de cada tecnologia de comunicação envolvida.

Em discussão com os responsáveis na Scania pelo sistema GPRS que está em operação, diversas opções de máquina de estados foram analisadas de modo a incluir a transmissão de dados via Satélite. Levando em conta as necessidades da empresa em relação ao custo da operação, e a necessidade de retransmissão de dados por conta de problemas na rede GPRS, chegou-se na máquina de estados que será detalhada na seqüência.

De modo geral as mudanças de estados em uma máquina de estados são devidas a ocorrência de eventos. Conforme detalhado posteriormente, a análise da máquina de estados proposta evidencia a existência de dois tipos de eventos. Por um lado há eventos cuja ocorrência depende de condições externas ao algoritmo, por exemplo, a existência de sinal GPRS, e por outro lado existem eventos que são determinados ou controlados pelo próprio algoritmo (basicamente períodos de “time-in” ou “time-out”). Assim sendo, uma vez definida a máquina de estados, resta definir uma estratégia de temporização para os eventos controláveis de modo a otimizar algum critério de desempenho proposto para o sistema.

### **2.1. Proposta de solução**

Será concebida uma máquina de estados que priorize a permanência em modo de transmissão GPRS na maior parte do tempo. O motivo é que em modo GPRS, o custo de transmissão é inferior ao modo de transmissão Satélite. Entretanto não é conveniente insistir fazer a transmissão em modo GPRS em um cenário de baixa potência, pois pode-se perder muito

tempo para realizar a transmissão das informações. Nesta condição é melhor permanecer a maior parte do tempo em modo Satélite apesar do maior custo de transmissão.

A nossa proposta é atuar nos eventos controláveis do sistema de modo que ele permaneça a maior parte do tempo possível em comunicação. O cálculo desse controle é feito dentro de um determinado contexto onde os tempos de vida dos eventos têm distribuição exponencial e que todas as distribuições são invariantes no tempo. Desta forma é possível calcular a probabilidade estacionária de permanência em cada estado. Quando os tempos de vida de uma máquina de estados têm distribuição exponencial, tem-se uma cadeia de Markov, na qual é possível determinar a probabilidade de estar em qualquer estado em qualquer instante. A principal propriedade dessas cadeias que também é chamada de memória markoviana, é que os estados anteriores são irrelevantes para a predição dos estados seguintes, desde que o estado atual seja conhecido. É possível ainda calcular as probabilidades estacionárias de permanência em cada estado e a partir daí calcular os tempos dos eventos controláveis de modo que estas probabilidades sejam maximizadas. Todo controle é baseado na idéia de que conhecemos as taxas dos eventos do sistema que não são controláveis. Otimizando as probabilidades estacionárias através dos eventos que são controláveis, podemos garantir que em situações práticas variadas o tempo de permanência médio em estados em que o sistema esteja em comunicação efetivada seja maximizado.

É importante observar que nos sistema reais as hipóteses acima não são necessariamente verdadeiras. De fato, pode-se antecipar que as taxas de transição não são constantes ao longo do tempo, e que os relógios estocásticos associados aos eventos não estejam distribuídos exponencialmente. Nossa hipótese fundamental é que a ação de controle seja pouco sensível a outros cenários estocásticos. Em cenários onde as densidades de probabilidade mudam constantemente, o valor do ótimo não muda tanto. Também considera-se que é possível rastrear estas mudanças com pouca informação, assumindo-se que medindo as médias estimadas dos tempos de transição entre os estados é suficiente para uma decisão de controle.

De início iremos trabalhar em um cenário de otimização de forma exponencial, e em seguida tentaremos estabelecer um cenário mais realista, simulando este sistema com as mesmas estratégias de controle que utilizaríamos se o sistema fosse exponencial. Através de simulação tentaremos validar as hipóteses acima descritas.

### 3. Ferramentas

Neste capítulo será feita uma introdução dos conceitos e principais ferramentas utilizadas nesta dissertação. Na seção 3.1 será apresentado o contexto de autômato temporizado estocástico. Este tipo de autômato é a base para a modelagem do sistema dinâmico constituído pelo sistema de chaveamento de modos de comunicação. Na seção 3.2 será descrito o conceito de cadeias de Markov que é a base do funcionamento da nossa máquina de estados na primeira hipótese considerada, onde os tempos de vida tem com distribuição exponencial. Finalmente na seção 3.3 iremos descrever o conceito de Simulação Orientada a Eventos que foi utilizado para a construção do simulador do sistema de comunicação/ controlador.

#### 3.1 Máquinas de Estados ou Autômatos [1]

Máquinas de Estados ou Autômatos são dispositivos capazes de representar um comportamento dinâmico discreto de acordo com regras bem definidas. A maneira mais simples de apresentar a notação de um autômato é através da representação gráfica ou diagrama de transição de estados. Através de um exemplo será possível introduzir esta representação.

Consideremos o diagrama da figura 1 onde os círculos representam os estados e os arcos representam as transições entre os estados. O conjunto dos estados do sistema é dado por  $X = \{x, y, z\}$ . O conjunto das transições ou conjunto do sistema é dado por  $E = \{a, b, g\}$ . A topologia do diagrama é uma representação gráfica da função de transição do autômato, que denotamos da seguinte forma  $f : X \times E \rightarrow X$  :

$$f(x, a) = x$$

$$f(y, a) = x$$

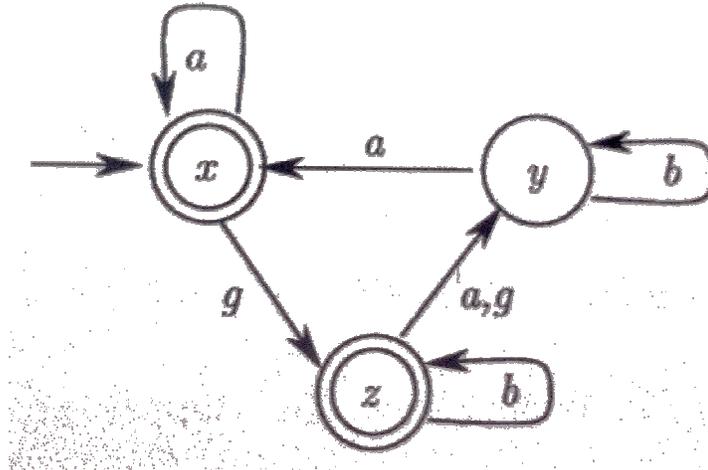
$$f(z, b) = z$$

$$f(x, g) = z$$

$$f(y, b) = y$$

$$f(z, a) = f(z, g) = y$$

A notação  $f(y, a) = x$  significa que se o autômato estiver no estado  $y$ , então após a ocorrência do evento  $a$ , o autômato irá fazer uma transição instantânea para o estado  $x$ . A causa da ocorrência do evento  $a$  é irrelevante; o evento poderia ser uma entrada externa para o sistema modelada pelo autômato, ou poderia ser um evento espontaneamente gerado pelo sistema modelado pelo autômato.



**Figura 1: Diagrama de transição de estados**

O estado inicial é  $x$  (marcado por uma seta), e o conjunto de estados *marcados* é  $\{x, z\}$  (círculos duplos).

Importante comentar o seguinte do exemplo acima:

- Um evento pode ocorrer sem alteração de estado, como no caso de  $f(x, a) = x$ .
- Dois eventos distintos podem ocorrer em um estado dado causando a mesma transição como em  $f(z, a) = f(z, g) = y$ . Interessante notar que neste caso não é possível distinguir entre os eventos  $a$  e  $g$  simplesmente observando a transição do estado  $z$  para o estado  $y$ .
- A função  $f$  é uma função parcial no domínio  $X \times E$  sendo que não há necessidade de se definir para cada evento em  $E$  qual o estado corresponde de  $X$ ; por exemplo,  $f(x, b)$  e  $f(y, g)$  não estão definidos.

Mais dois ingredientes são necessários para definir completamente um autômato: o estado inicial, denotado por  $x_0$ , e o subset  $X_m$  de  $X$  que representa os estados de  $X$  que estão *marcados*. Estados são *marcados* quando se tem interesse de adicionar um significado especial para eles. Estados *marcados* também são referenciados como estados de “aceitação” ou estados “finais”. Na

figura acima o estado inicial é identificado por uma seta apontando para dentro e os estados pertencendo a  $X_m$  serão identificados por círculos duplos.

Desta forma agora será possível fazer a definição formal de um autômato.

Um autômato determinístico, denotado por  $A$ , é uma sêxtupla ordenada

$$A = (X, E, f, \Gamma, x_0, X_m)$$

onde:

$X$  é o conjunto dos estados

$E$  é o conjunto dos eventos associados com as transições em  $A$

$f : X \times E \rightarrow X$  é a *função de transição*:  $f(x, e) = y$  que significa que há uma transição identificada por um evento  $e$  do estado  $x$  para o estado  $y$ ; em geral,  $f$  é uma função parcial do próprio domínio

$\Gamma : X \rightarrow 2^E$  é a função<sup>1</sup> de habilitação que mostra os eventos que estão ativos ou que tem possibilidade de acontecer em um certo estado;  $\Gamma(x)$  é o conjunto de todos os eventos  $e$  para os quais  $f(x, e)$  é definido e é denominado *conjunto de eventos ativos* (ou conjunto de eventos possíveis) de  $A$  em  $x$

$X_m \subseteq X$  é o conjunto dos estados *marcados*.

Observações:

- As palavras *máquina de estado* e *gerador* são freqüentemente utilizadas para descrever o objeto acima.
- O autômato é dito *determinístico* porque  $f$  é uma função sobre  $X \times E$ . Em contraste a estrutura de transição de autômato não determinístico significa que existe uma relação entre  $X \times E \times X$  ou equivalentemente, que existe uma função de  $X \times E$  para  $2^X$ .
- A seleção correta dos estados *marcados* é uma questão de modelação que depende do problema em análise. Determinando que certos estados são *marcados*, nós podemos mostrar por exemplo, que o sistema independente de estar entrando nestes estados, completou alguma operação ou tarefa.

---

<sup>1</sup> Se  $A$  é um conjunto qualquer, então  $2^A$  denota o conjunto das partes de  $A$ , isto é, o conjunto formado por todos os subconjuntos de  $A$ . É usual também a notação  $\mathbf{P}(A)$ .

O autômato  $A$  opera da seguinte maneira: Começa no estado inicial  $x_0$  e após a ocorrência de um evento  $e \in \Gamma(x_0) \subseteq E$  irá fazer a transição para o estado  $f(x_0, e) \in X$ . Este processo então continua baseado nas transições para qual  $f$  foi definida.

O modelo apresentado acima não inclui aspectos de temporização. Considerando a importância destes aspectos neste trabalho, passaremos a descrever na seqüência os autômatos temporizados estocásticos.

Um processo estocástico ou aleatório é simplesmente uma coleção de variáveis aleatórias indexadas através de algum parâmetro (que é normalmente considerado com “tempo”). Aqui temos um exemplo simples. Seja  $\Omega = \{\text{UP}, \text{DOWN}\}$  a amostra do espaço para descrição do estado aleatório de uma máquina. Por meio do mapeamento de UP em 1 e DOWN em 0, podemos definir uma variável aleatória  $X(\omega)$ ,  $\omega \in \Omega$ , que tem os valores 0 ou 1. Portanto,  $X(\omega) = 1$  significa que a máquina está UP, e  $X(\omega) = 0$ , significa que a máquina está DOWN. Em seguida, supomos que desejamos descrever o estado da máquina uma vez ao dia durante todos os dias, e deixar  $k = 1, 2, \dots$  indexar os dias. Portanto,  $X(\omega, k)$  é uma variável aleatória descrevendo o estado da máquina no  $k$ -ésimo dia. A coleção de variáveis aleatórias  $\{X(\omega, 1), X(\omega, 2), \dots, X(\omega, k), \dots\}$  define um processo estocástico.

Um autômato temporizado estocástico se constitui da seguinte sêxtupla ordenada:

$$\{E, X, \Gamma, f, x_0, G\}$$

onde:

$E$  = conjunto de eventos

$X$  = espaço de estados

$\Gamma$  = função de habilitação

$f$  = função de transição

$x_0$  = estado inicial

$G$  = estrutura do relógio estocástico

De modo geral, em cada instante de tempo o estado do sistema corresponde a um elemento de  $X$ . O estado é alterado a cada ocorrência de eventos (do conjunto  $E$ ). A função  $\Gamma$  determina que eventos possam ocorrer em cada estado e a função  $f$  determina o novo estado na ocorrência de um evento.

A estrutura de relógio  $G$  é dada por  $G = \{G_i : i \in E\}$  onde  $G_i(t)$  é uma função de distribuição acumulada conhecida,  $G_i(t) = P[V_i \leq t]$ .  $V_i$  corresponde ao tempo de vida do evento. Cada evento tem associado a ele uma densidade de probabilidade e a cada mudança de estado, os eventos habilitados têm a eles associados um tempo de vida sorteado de acordo com a respectiva densidade. O menor tempo de vida determinará o próximo evento a ocorrer.

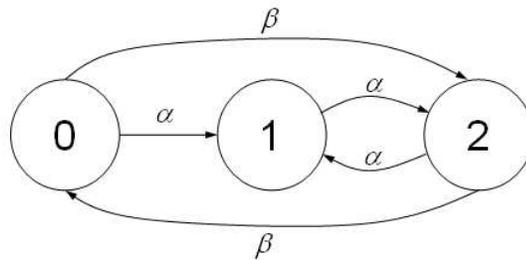
Estando em um estado  $x_i \in X$  será necessário avaliar quem são os eventos habilitados para este estado -  $\Gamma(x_i)$ . Um tempo  $V_j$  para cada evento habilitado será sorteado e será verificado qual dos valores é o menor. No próximo estado o processo é repetido levando em conta contudo, que caso um evento permaneça habilitado após a ocorrência de um outro evento, então não é necessário sortear um novo valor para o tempo de vida deste evento, sendo considerado o tempo remanescente desde sua última habilitação. O menor valor é escolhido e a transição será realizada. O nosso modelo irá trabalhar desta maneira conforme tratado no próximo tópico.

Exemplo:

Para enfatizar a diferença entre aspectos determinísticos e estocásticos de um mesmo autômato subjacente cujo diagrama de transição de estados é representado na figura 2. Um processo generalizado semi-markov é gerado pelo seguinte modelo de um autômato temporizado estocástico:

$$\begin{aligned}
 E &= \{\alpha, \beta\}, & X &= \{0,1,2\} \\
 \Gamma(0) &= \Gamma(2) = \{\alpha, \beta\}, & \Gamma(1) &= \{\alpha\} \\
 p(1;0,\alpha) &= f, & p(2;0,\beta) &= f \\
 p(2;1,\alpha) &= f \\
 p(0;2,\beta) &= f, & p(1;2,\alpha) &= f
 \end{aligned}$$

com todas outras probabilidades de transição igual a 0. Esta é a formulação probabilística da estrutura de transição de estado determinística mostrada na figura 1. A estrutura do relógio estocástico é completamente especificada através de dois cdf's,  $G_\alpha$  e  $G_\beta$ . Em adição, um estado inicial cdf  $p_0$  é também fornecido.



**Figura 2: Diagrama de transição de estado**

### 3.2 Cadeias de Markov [1] e [2]

As cadeias de Markov são classes de processos estocásticos que fornecem um rico quadro para o estudo de sistemas a eventos discretos de aplicação práticas, que vão desde jogos de azar e do mercado de ações até o projeto de supercomputadores e rede de comunicação.

A principal característica das cadeias de Markov é que o comportamento estocástico delas é descrito pelas probabilidades de transições da forma  $P[X(t_{k+1}) = x' | X(t_k) = x]$  para todos os valores de estado  $x, x'$  e  $t_k \leq t_{k+1}$  onde  $t_k$  são instantes de tempo e  $X$  é uma variável aleatória que identifica o estado do sistema. Dadas estas probabilidades de transição e uma distribuição para o estado inicial, é possível determinar a probabilidade de estar em qualquer estado em qualquer instante. A principal propriedade dessas cadeias que também é chamada de memória markoviana, é que os estados anteriores são irrelevantes para a predição dos estados seguintes, desde que o estado atual seja conhecido. Isto faz com que as densidades de probabilidades dos eventos seja exponencial, isto é, propriedade de não memória implica em densidade exponencial para os tempos de vida dos eventos.

Se, na definição de um autômato estocástico temporizado, todos os relógios  $G_i$  são dados por  $G_i = 1 - e^{-\lambda_i t}$ , isto é, distribuição exponenciais de probabilidades, temos uma cadeia de Markov contínua [1]. Esta cadeia tem muitas propriedades interessantes. Podemos citar como exemplo a possibilidade de calcular analiticamente as probabilidades de que num instante arbitrário  $t$  o sistema se encontre em um certo estado  $x$ .

Considerando uma cadeia de Markov com espaço de estados finito  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$

Define-se a probabilidade de o sistema se encontrar no estado  $x_i$  no instante  $t$  como sendo:

$$\pi_i(t) = P[x(t) = x_i]$$

Uma expressão importante neste caso é:

$$\frac{d\pi_j(t)}{dt} = q_{jj}\pi_j(t) + \sum_{i \neq j} q_{ij}\pi_i(t)$$

Onde:

$$q_{ij} = \sum \text{taxa}(\lambda) \text{ dos eventos que estão } \underline{\text{entrando}} \text{ no estado } j.$$

$$q_{jj} = \sum \text{taxa}(\lambda) \text{ dos eventos que estão } \underline{\text{saindo}} \text{ do estado } j.$$

A equação diferencial acima é a que permite calcular  $\pi_i(t)$ . Para cada estado teremos uma equação diferencial como esta.

Quando a cadeia de Markov atende determinados requisitos, pode-se provar [1] que a probabilidade estacionária é atingida.

O cálculo das probabilidades estacionárias é dado por:

$$\frac{d\pi_i}{dt} = 0 \text{ para qualquer } i.$$

Portanto as probabilidades estacionárias irão satisfazer  $Q' \cdot \pi = 0$

Pode-se provar que a matriz  $Q'$  é singular e que para o sistema acima tenha única solução deve-se acrescentar a seguinte equação:



sempre o calendário ordenado, naturalmente este evento é o primeiro da lista. Duas ações deverão ser executadas: Uma atualização do tempo corrente e uma atualização do estado do sistema. A atualização do tempo corrente é feita de acordo com o instante previsto para ocorrência do primeiro evento da lista. A atualização do estado é feita de acordo com um modelo que define o próximo estado a partir do estado atual e do evento ocorrido. Havendo uma mudança de estado alguns eventos são desabilitados e outros eventos são habilitados de acordo com a função  $\Gamma(x)$ . Os eventos desabilitados são eliminados do calendário e os eventos habilitados deverão ser incluídos no calendário. Eventos que já estavam habilitados e que continuam habilitados deverão continuar no calendário. Uma vez que se eliminou o que tinha de ser eliminado e se incluiu o que tinha de ser incluído, ao incluir novos eventos, um instante de ocorrência é sorteado para cada um de acordo com estrutura de relógio estocástico  $G$ , que fornece uma densidade de probabilidade associada. Todos os eventos habilitados com o seu respectivo tempo deverão fazer parte do calendário. O calendário é reordenado e o ciclo se repete, apontado-se para o primeiro evento da lista e mudando-se o relógio para aquele instante.

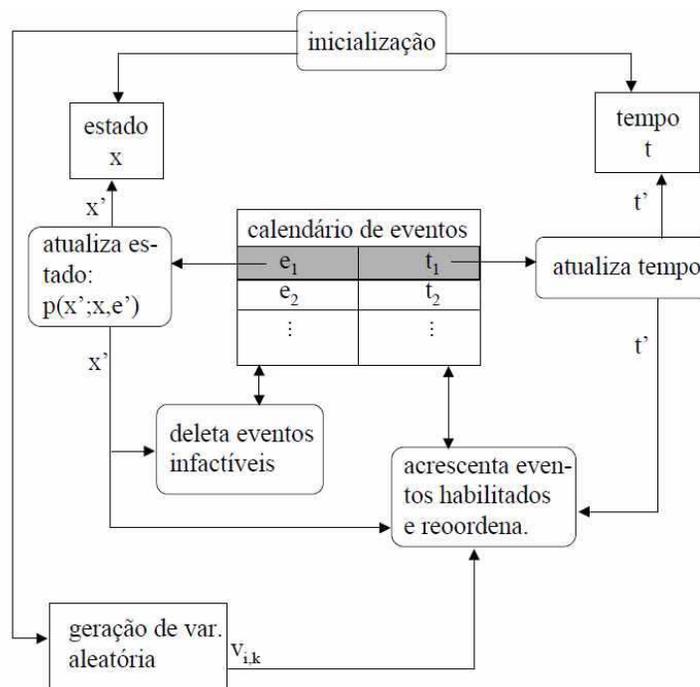


Figura 3: Esquema de simulação da técnica de simulação orientada a evento

A execução do programa irá obedecer aos seguintes passos de acordo a figura acima:

- 1) A primeira linha do calendário é removida;
- 2) O valor de  $t$  é atualizado;
- 3) O estado é atualizado de acordo com  $x' = f(x,e)$ ;
- 4) As linhas correspondentes ao eventos infactíveis no novo estado são deletadas;
- 5) No calendário são acrescentados os eventos factíveis que ainda não estejam escalonados; o tempo associado ao novo evento é obtido adicionando-se ao tempo corrente a um valor sorteado da estrutura de relógio;
- 6) O calendário é reordenado por ordem crescente do valor do tempo em que os eventos foram escalonados.

O programa deverá ser composto dos seguintes componentes:

- Estado: É uma lista onde as variáveis de estado são armazenadas;
- Tempo: Uma variável responsável por armazenar o tempo de simulação;
- Calendário de Eventos: Uma lista onde todos os eventos escalonados e o instante que ocorreu estão armazenados.
- Registro de Dados: São as variáveis e/ou lista de armazenamento de dados que serão utilizados nas estimações;
- Rotina de Inicialização: Quando a simulação começa, esta rotina é responsável por inicializar todas as estruturas de dados descritas;
- Rotina de Atualização do Tempo: Responsável por identificar o próximo evento que irá ocorrer e o avanço do tempo de simulação para ocorrência daquele evento;
- Rotina de Atualização do Estado: Irá atualizar o estado presente usando o sorteio com base no evento que vem na seqüência;
- Rotinas de Geração de Variáveis Aleatórias: Através de números randômicos são responsáveis por gerar amostras das variáveis aleatórias que estão associadas aos tempos de vida dos eventos conforme distribuições definidas no início;
- Rotina de Geração de Relatórios: Irá calcular a estimativa das grandezas de interesse baseado nos dados que foram coletados durante a simulação.
- Programa Principal: Coordena todos os componentes acima definidos. Segue o seguinte fluxo:

Inicia chamando a Rotina de Inicialização → Chama repetidamente as Rotinas de Atualização →  
Atualiza o Calendário de Eventos → Termina o programa

## **4. Análise do Problema do Handoff e Síntese do Controlador**

### **4.1 Introdução**

O objetivo deste capítulo é propor um modelo para o funcionamento do sistema de chaveamento do sistema de comunicações descrito no capítulo 1. Como modelo será proposto um autômato temporizado estocástico cuja descrição é feita na seção 3.1 Em seguida será discutida uma estratégia de controle para o sistema modelado, baseada na decisão sobre os eventos controláveis existentes no modelo. Esta estratégia é baseada em um modelo simplificado, a saber, em uma cadeia de Markov, obtida admitindo-se que todos os eventos do sistema têm estrutura de relógio com distribuição exponencial. A análise deste problema é feita na seção 4.2. Os modelos simplificados, nos quais é baseada a estratégia de controle, não correspondem de modo geral, às condições reais de operação do sistema. Assim sendo, serão analisados na seção 4.3 modelos alternativos, mais realistas, para compreensão do comportamento do sistema de comunicações. Estes modelos mais realistas serão utilizados para validar as estratégias de controle proposta na seção 4.2, com o uso de ferramentas de simulação. Deve-se observar, que a obtenção de estratégias de controle baseadas nestes modelos levaria a um problema matemático de difícil solução. Assim sendo a proposta deste trabalho é usar a estratégia obtida através do modelo markoviano em condição de operação realistas. O capítulo 5 mostra através de simulações e respectivas análises a conveniência desta abordagem.

### **4.2 Formulação e solução do problema idealizado**

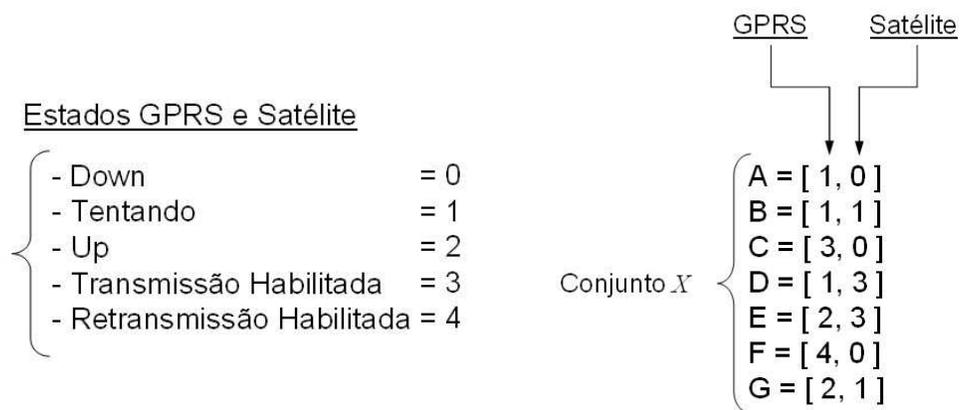
Nesta seção propõe-se um autômato estocástico que modele o nosso problema. A definição destes autômatos envolve diferentes estados que são necessários para um funcionamento adequado do sistema.

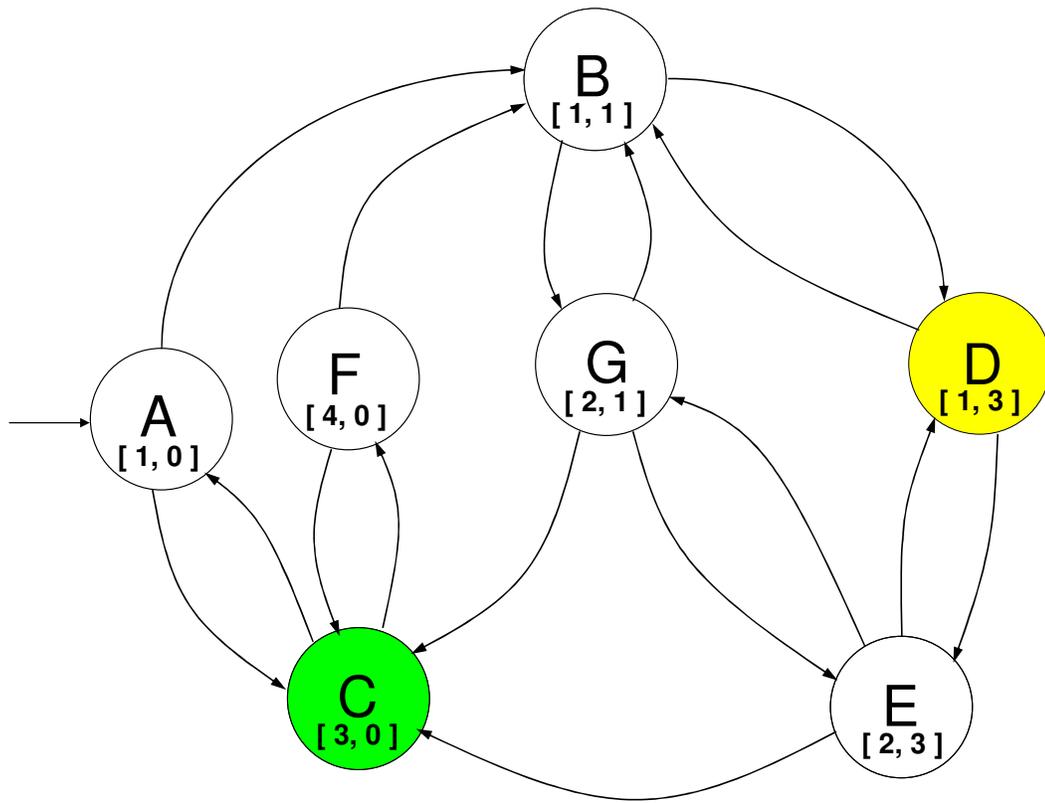
O nosso problema consiste de dois sistemas de comunicação para o qual precisamos enviar informações: um sistema GPRS e um sistema Satélite. Cada sistema de comunicação pode assumir diferentes estados: podem estar fora de comunicação, tentando se comunicar, disponível para comunicação, em transmissão ou retransmissão.

Assim sendo para descrever o estado do sistema assume-se que cada modo de comunicação (GPRS ou Satélite) pode estar em uma das seguintes situações:

- 0 = Down: Comunicação não está ativa. Não há presença de sinal GPRS ou Satélite
- 1 = Tentando: Há presença de sinal GPRS ou Satélite, mas o sistema ainda não está conectado. Está tentando a conexão em algumas das redes de comunicação.
- 2 = Up: O sistema conseguiu se conectar em uma das redes disponíveis de GPRS ou Satélite. A conexão está estável.
- 3 = Transmissão Habilitada: O sistema está conectado e habilitado para realizar transmissões na rede de comunicação GPRS ou Satélite.
- 4 = Retransmissão Habilitada: O sistema está tentando realizar retransmissões na rede de comunicação GPRS.

A partir destas situações foi definida a quantidade de estados necessários para representar a comunicação GPRS e Satélite. Foram definidos 7 estados para comunicação – de A a G, sendo que cada estado pode assumir diferentes situações combinadas entre o estado momentâneo do GPRS e Satélite. Tanto o estado do GPRS como o do Satélite varia de 0 a 4, conforme as definições anteriores. A figura 4 sintetiza esta discussão.





**Figura 4: Definições e Diagrama da Máquina de estados**

A análise do diagrama da figura 4 permite inferir que eventos são relevantes na descrição do sistema. Os eventos são divididos entre eventos “não controláveis” e eventos “controláveis”. Também é importante definir que o tempo de vida de um evento é aquele transcorrido entre o instante em que o evento é habilitado e sua ocorrência. Num autômato temporizado estocástico este tempo é uma variável aleatória. Numa cadeia de Markov esta variável aleatória é exponencial.

Os eventos “não controláveis” identificados nesta máquina de estado são os seguintes:

- GU – GPRS Up: Comunicação via GPRS estabelecida.
- GD – GPRS Down: Comunicação via GPRS perdida.
- SU – Satélite Up: Comunicação via Satélite estabelecida.
- SD – Satélite Down: Comunicação via Satélite perdida.

- GRS – GPRS Retransmissão Inicia: Retransmissão automática de informações na rede de comunicação GPRS iniciada.
- GRF – GPRS Retransmissão Termina: Retransmissão automática de informações na rede de comunicação GPRS terminada.

Os eventos “controláveis” identificados nesta máquina de estado são os seguintes:

- TOG – Time Out GPRS: Evento que estabelece a mudança do estado “A” para o estado “B”. A este evento temos um tempo de vida associado.
- TOR – Time Out Retransmissão GPRS: Evento que estabelece a mudança do estado “F” para o estado “B”. A este evento temos um tempo de vida associado.
- TIG – Time in GPRS: Evento que estabelece a mudança dos estados “E” ou “G” para o estado “C” onde teremos garantia de o sistema estar habilitado para transmissões GPRS. A este evento temos um tempo de vida associado.

Observa-se a existência de 9 eventos possíveis sendo que 6 eventos não são dependentes da ação do algoritmo e 3 eventos serão definidos pelo projeto. Recapitulando a nossa proposta de ação será calcular estes 3 eventos de modo a otimizar a probabilidade de permanência em cada estado.

Estas discussões são sintetizadas pela figura 5, que permitem a definição de um autômato temporizado estocástico desde que sejam definidas estruturas de relógio adequadas.

- Conjunto  $E$
- Eventos não controláveis:
- GU – GPRS Up
  - GD – GPRS Down
  - SU – Satélite Up
  - SD – Satélite Down
  - GRS – GPRS Retransmissão Inicia
  - GRF – GPRS Retransmissão Termina
- Eventos controláveis :
- TOG – Time Out GPRS
  - TOR – Time Out Retransmissão GPRS
  - TIG – Time in GPRS

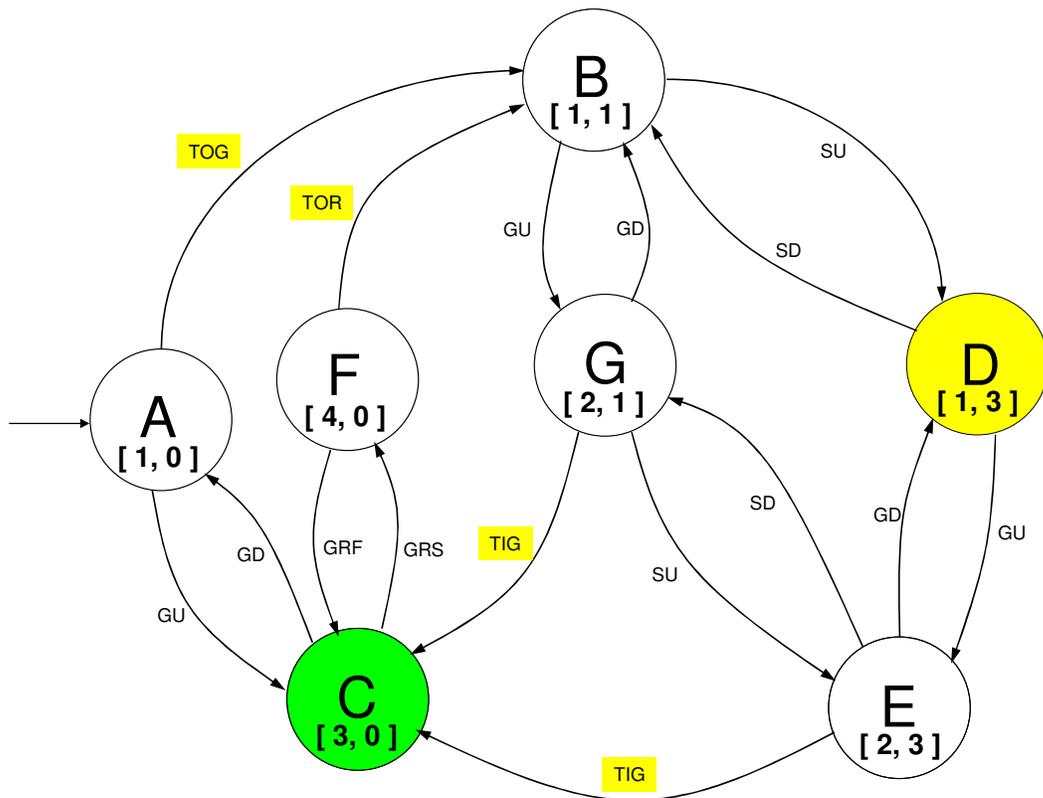


Figura 5: Diagrama da Máquina de estados com eventos

Podemos, portanto explicitar o autômato temporizado estocástico cuja conceituação foi apresentada na seção 3.1 da seguinte maneira:

$$A = \{E, X, \Gamma, f, x_0, G\}$$

onde:

$$\begin{aligned}
 E &= \{GU, GD, SU, SD, GRF, GRS, TOR, TOG, TIG\} \\
 X &= \{A, B, C, D, E, F, G\} & f(C, GRS) &= F \\
 \Gamma(A) &= \{GU, TOG\} & f(D, GU) &= E \\
 \Gamma(B) &= \{GU, SU\} & f(D, SD) &= B \\
 \Gamma(C) &= \{GD, GRS\} & f(E, SD) &= G \\
 \Gamma(D) &= \{GU, SD\} & f(E, TIG) &= C \\
 \Gamma(E) &= \{SD, GD, TIG\} & f(E, GD) &= D \\
 \Gamma(F) &= \{GRF, TOR\} & f(F, GRF) &= C \\
 \Gamma(G) &= \{GD, SU, TIG\} & f(F, TOR) &= B \\
 f(A, GU) &= C & f(G, GD) &= B \\
 f(A, TOG) &= B & f(G, SU) &= E \\
 f(B, GU) &= G & f(G, TIG) &= C \\
 f(B, SU) &= D & x_0 &= A \\
 f(C, GD) &= A & G &= \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7, \lambda_8, \lambda_9
 \end{aligned}$$

Observa-se pela figura 5 que o diagrama da máquina de estados é composto de 7 estados que variam de “A” a “G”. Os estágios onde o sistema está habilitado para transmissões GPRS e Satélite são respectivamente os de letra “C” e “D”. Os demais estados são necessários para fazer transições conforme a disponibilidade das redes de comunicação GPRS e Satélite e necessidade de retransmissão.

Iniciando-se o ciclo da máquina de estados pelo estado “A”, neste caso o sistema não está conectado a nenhuma rede de comunicação e tentando conexão a rede de comunicação GPRS. O evento TOG é habilitado e um tempo de vida para este evento começa a contar. Se durante este tempo, o evento “não controlável” de GPRS Up (GU) ocorrer, o sistema muda para o estado “C” onde assume o estado de transmissão habilitada em GPRS e sem comunicação Satélite. Decorrido tempo de vida TOG, se caso GU não ocorrer o sistema muda para o estado “B”. Neste estado o sistema continua tentando a conexão a rede de comunicação GPRS e a rede de comunicação Satélite ao mesmo tempo. Dependendo a disponibilidade dos sinais de GPRS e Satélite o sistema

irá mudar para o estado “D” ou “G”. Se o evento “não controlável” de GPRS Up (GU) ocorrer o sistema irá mudar para o estado “G”. Se o evento “não controlável” de Satélite Up (SU) ocorrer o sistema irá mudar para o estado “D”.

Para uma primeira análise, iremos considerar que o sistema se mudou para o estado “G”, onde teremos a seguinte situação: O sistema se conectou a rede de comunicação GPRS, o evento TIG é habilitado, e continua tentando a conexão a rede de comunicação Satélite. Depois de um tempo de vida (otimizado pelos nossos algoritmos) para o evento “TIG”, o sistema é considerado estável, e se muda para o estado “C” onde assume o estado de transmissão habilitada em GPRS e sem comunicação Satélite. Se durante o tempo de vida do evento “TIG” o sistema se desconectar da rede de comunicação GPRS, e o evento “não controlável” de Satélite Up (SU) ocorrer, o sistema irá mudar para o estado “E”.

Em uma segunda análise, iremos considerar que o sistema se mudou para o estado “D”, onde teremos a seguinte situação: O sistema se conectou a rede de comunicação Satélite e ainda continua tentando a conexão a rede de comunicação GPRS. O sistema está habilitado para realizar transmissões na rede de comunicação Satélite até a ocorrência de um evento “não controlável” de GPRS Up (GU) ou a ocorrência de um evento “não controlável” de Satélite Down (SD).

Considerando-se que um evento “não controlável” de GPRS Up (GU) aconteceu, o sistema irá mudar para o estado “E”.

Neste estado o sistema está habilitado para realizar transmissões na rede de comunicação Satélite e conectado na rede de comunicação GPRS. O evento “TIG” é habilitado e um tempo de vida para este evento começa a contar. Decorrido este tempo o sistema é considerado estável e se muda para o estado “C” onde assume o estado de transmissão habilitada em GPRS e a rede de comunicação Satélite é desabilitada. Se durante este tempo de vida acontecer um evento “não controlável” de Satélite Down (SD) o sistema irá mudar para o estado “G”.

Quando o sistema está estável no estado “C” e habilitado para realizar transmissões GPRS, existe a possibilidade de acontecer um evento “não controlável” de início de retransmissão de dados (GRS). Este tipo de evento pode acontecer, pois mesmo tendo a indicação de que a rede de dados está estável, não existe a confirmação (ACK) de que os dados foram transmitidos. Desta maneira há necessidade de uma retransmissão dos dados que leva o sistema para o estado “F”. O sistema tenta retransmitir a informação algumas vezes, em diferentes intervalos de tempo, esperando receber a confirmação (ACK). Recebendo esta confirmação um evento “não controlável” de fim de retransmissão acontece e o sistema irá retornar para o estado “C”.

Vamos considerar que ocorre o evento “não controlável” GRS e o sistema está no estado “F” tentando receber a confirmação (ACK). Se depois de algumas tentativas em diferentes intervalos de tempo o sistema não consegue retransmitir a informação, um evento controlável de Time Out de retransmissão (TOR) é habilitado e após um tempo vida determinado, o sistema é levado ao estado “B” onde o ciclo da máquina de estados se repete conforme explicado acima.

### **Modelos de custos e modelos probabilísticos de oferecimento do sinal**

Para discorrermos sobre a análise que será feita na seqüência, iremos numerar os eventos da máquina de estados conforme a figura abaixo:

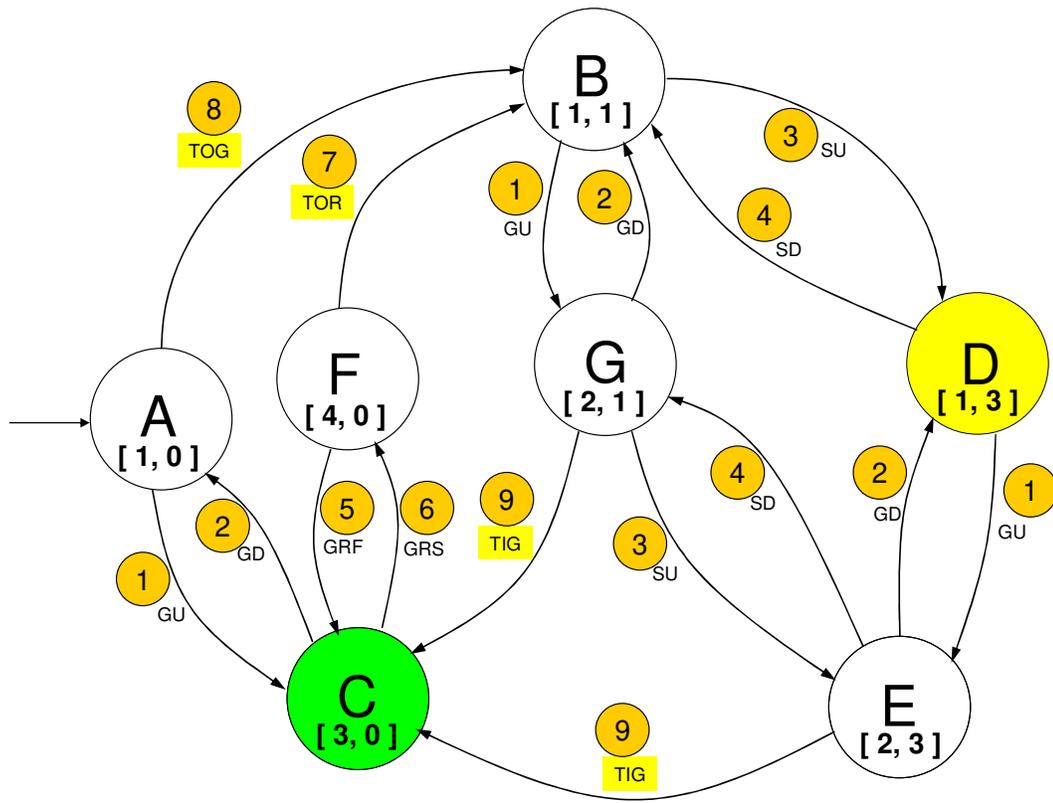


Figura 6: Diagrama da Máquina de estados com numeração dos eventos

De modo geral as probabilidades dependem do tempo.

Por definição, a probabilidade de que o sistema esteja no estado  $x_i$  no instante  $t$  é:

$$\pi_i(t) = P[X = x_i | t]$$

Conforme a descrição anterior, como  $X = \{A, B, C, D, \dots, G\}$ , estas probabilidades serão denotadas por  $\pi_A(t), \dots, \pi_G(t)$ .

De acordo com as discussões do capítulo 1 e da introdução deste capítulo, a estratégia de controle proposta neste trabalho baseia-se na hipótese de que o sistema se comporta como uma cadeia de Markov, isto é, todos os eventos, tem estrutura de relógio com distribuição exponencial. Uma distribuição exponencial tem como único parâmetro sua taxa de ocorrência, em geral denotada por  $\lambda$ . Assim sendo assume-se nesta discussão que as nove densidades de probabilidades associadas aos eventos do sistema têm respectivamente taxas  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_9$ . A partir desta hipótese é



$$J = 4\pi_C + \pi_D + \pi_E$$

$$J = C^T \cdot \pi \text{ sendo } C^T = [0 \ 0 \ 4 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0]$$

Os valores escolhidos para o vetor C tem por objetivo garantir uma permanência maior nos estados em que o sistema está em comunicação. Adota-se peso 4 para permanência no estado C (Comunicação via GPRS) e peso 1 para permanência nos estados D e E (Comunicação via satélite que é a segunda fonte de transmissão).

Além disso  $\pi$  depende da matriz  $Q$  que por sua vez é função das taxas  $\lambda_1, \dots, \lambda_9$ . Em particular,  $\lambda_7, \lambda_8$  e  $\lambda_9$  estão relacionadas aos parâmetros de projeto (TOR, TOG e TIG). Estabelece-se assim um problema de otimização dado pela maximização em relação a  $\lambda_7, \lambda_8$  e  $\lambda_9$  do critério  $J = C^T \cdot \pi = C^T \cdot Q^{-1} \cdot b$ , sendo  $Q = Q(\lambda_7, \lambda_8, \lambda_9)$  isto é:

$$\text{Max}_{\lambda_7, \lambda_8, \lambda_9} J(\lambda_1, \dots, \lambda_9)$$

Deve-se observar que a solução do problema acima depende dos valores das outras taxas  $\lambda_1$  a  $\lambda_6$ , que constituem dados do problema. Estes dados são correspondentes a qualidade do sistema de comunicação conforme discutido anteriormente.

### **Cálculo do ótimo**

A obtenção dos valores ótimos dos parâmetros  $\lambda_7, \lambda_8$  e  $\lambda_9$  para o problema descrito anteriormente constitui um problema de otimização não-linear em razão da inversão da matriz Q na formatação do critério. Contudo, através de exercícios numéricos realizados para uma ampla faixa de valores  $\lambda_1, \dots, \lambda_6$ , observou-se que os valores ótimos para  $\lambda_7, \lambda_8$  e  $\lambda_9$  encontram-se sistematicamente nos extremos de suas faixas de variação. Em outras palavras, foi possível inferir que os valores ótimos para  $\lambda_7, \lambda_8$  e  $\lambda_9$  são sempre zero ou infinito. Embora este fato não tenha sido matematicamente provado neste trabalho, um grande número de situações numericamente testadas permite que se adote a hipótese de que seja verdadeiro. Além disso, do ponto de vista

prático, é razoável supor que em operação normal os tempos de “Time-out” (TOR-TOG) e “Time-in” (TIG) sejam limitados, o que nos leva a assumir valores mínimos e máximos para os parâmetros de controle  $\lambda_7, \lambda_8$  e  $\lambda_9$ . Assim sendo, dado que os valores ótimos do critério J ocorram sempre nos extremos, concluímos que existem apenas oito possibilidades de combinação de valores para os parâmetros de controle, a saber:

$$\begin{array}{l} \lambda_{7 \min} \quad \text{ou} \quad \lambda_{7 \max} \\ \lambda_{8 \min} \quad \text{ou} \quad \lambda_{8 \max} \\ \lambda_{9 \min} \quad \text{ou} \quad \lambda_{9 \max} \end{array}$$

Este fato permite a obtenção extensiva do valor ótimo, isto é, através da avaliação direta dos oito valores possíveis do critério J.

Portanto, caso os parâmetros  $\lambda_1$  a  $\lambda_6$  sejam conhecidos, a combinação dos valores de  $\lambda_7$  a  $\lambda_9$  pode ser obtida para verificação direta do valor J para os oito casos possíveis das variáveis de controle.

### Estimação de $\lambda_1$ a $\lambda_6$

Para a obtenção das taxas de transição  $\lambda_1, \dots, \lambda_6$  utilizaremos o fato de que  $E[T_i] = \frac{1}{\lambda_i}$  é a esperança matemática de uma variável aleatória exponencial com taxa  $\lambda$ . Portanto uma maneira de estimar os valores das taxas de  $\lambda_1, \dots, \lambda_6$  é registrar os tempos de permanência em cada estado, que nos caso da cadeia de Markov coincidem com o tempo de vida do evento que produz uma certa transição observada.

Por exemplo, se o sistema permanecer no estado A por  $t$  unidades de tempo e em seguida evoluir para o estado C, pode-se inferir que  $t$  é uma realização da variável aleatória  $t_{GU}$  (tempo de vida do evento GU). Após uma seqüência de observações como esta  $\{t_{GU1}, t_{GU2}, \dots, t_{GUN}\}$  é possível estimar a esperança da variável  $T_{GU}$ ,

$$E[T_{GU}] \cong \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N t_{GUj}$$

Considerando que o tempo de vida do evento GU é uma variável aleatória exponencial, tem-se que a taxa  $\lambda_1$ , associada a esta variável aleatória, é dada por:

$$\lambda_1 = \frac{1}{E[T_{GU}]}$$

Este procedimento pode ser adotado para todos os eventos não controláveis.

Desta forma o algoritmo deverá permanentemente observar o tempo de transição entre estados. Cada tempo de transição estará associado ao evento que provoca mudança de estado. O inverso da média dos tempos de transição associados ao  $i$  – ésimo evento será a estimativa de  $\lambda_i$ .

## Proposta de um algoritmo de controle de otimização levando em conta os modelos de custo e de oferecimento do sinal

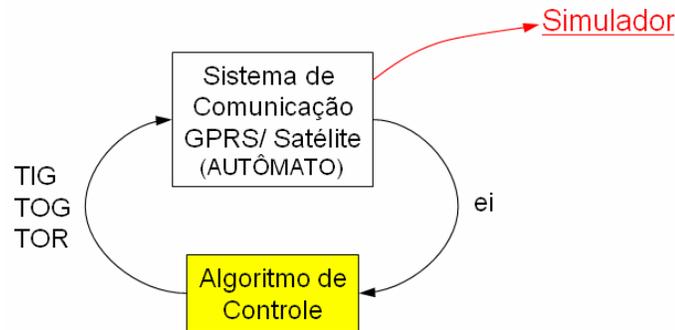


Figura 7: Sistema de Comunicação GPRS/ Satélite e o Algoritmo de Controle

Sintetizando, a proposta do nosso algoritmo de controle irá seguir os seguintes passos:

- 1) Observar os eventos que acontecem na máquina de estados;
- 2) Estimar os valores de  $\lambda_i$  sendo que  $i$  irá variar de 1 à 6;
- 3) Para cada combinação possível de  $\lambda_7, \lambda_8$  e  $\lambda_9$  :
  - a. O valor de J é calculado;
  - b. A combinação que maximiza J é armazenada;
- 4) Atuar no sistema alterando os valores de “time-out” e o “time-in” associados aos valores calculados de  $\lambda_7, \lambda_8$  e  $\lambda_9$  .

Finalmente é importante observar que nos sistema reais as hipóteses acima não são necessariamente verdadeiras. De fato, pode-se antecipar que as taxas de transição  $\lambda_1$  a  $\lambda_6$  não são constantes ao longo do tempo, e que os relógios estocásticos não estejam distribuídos exponencialmente. Nossa hipótese fundamental é que a ação de controle seja pouco sensível a outros cenários estocásticos. Em cenários onde as densidades de probabilidade mudam constantemente, o valor ótimo não muda tanto.

### 4.3 Modelos Estocásticos de Temporização

Para efeito de síntese do controlador, no item anterior, adotamos modelos exponenciais para a temporização de todos os eventos do sistema.

Porém sabemos que o caso real pode apresentar outros comportamentos. Nesta seção vamos discutir quais seriam os possíveis modelos mais realistas, e também quais seriam os limites (pior caso e melhor caso) destes modelos.

Os modelos apresentados nesta seção foram obtidos a partir de considerações práticas, e não constituem uma análise exaustiva das possibilidades. É importante destacar que a metodologia proposta em linhas gerais neste trabalho pode ser utilizada para a análise de situações bem diversificadas.

Na seção 4.3.1 serão apresentados modelos para os comportamentos dos tempos de vida associados aos eventos GU e GD, isto é, aqueles ligados ao sinal GPRS. Na seção 4.3.2 será analisado o evento GRF e finalmente na seção 4.3.3 serão tratados os outros eventos não controlados (SU, SD, GRS).

No capítulo 5 serão explicitados os limites dos modelos adotados, isto é, as faixas de variação de seus parâmetros.

#### **4.3.1 Modelos para o sinal GPRS**

O modelo proposto para os tempos de vida dos eventos GU e GD é baseado numa tabela empírica (histograma), que por sua vez é obtido a partir da simulação de um veículo se deslocando numa região coberta por uma rede de antenas GPRS.

Para obtenção desta tabela, os seguintes elementos são necessários:

- a) Simulação do movimento do veículo num plano;
- b) Definição de uma rede de antenas no plano;
- c) Modelo estocástico para existência de sinal GPRS em cada ponto do plano.

O movimento do veículo no plano é definido como sendo um movimento aleatório no qual os passos nas direções  $x$  e  $y$  são definidos por ruídos resultantes da integração de ruídos brancos, normalizados de modo a manter constante a velocidade do veículo. Definindo estes passos como  $r_x(k)$  e  $r_y(k)$  temos formalmente:

$$\left. \begin{aligned} r_x(k) &= r_x(k-1) + \xi_k \\ r_y(k) &= r_y(k-1) + \eta_k \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \xi_k \text{ e } \eta_k \\ \text{São ruídos gaussianos,} \\ \text{brancos de média nula} \\ \text{e desvio padrão } \sigma = 0,4 \end{array}$$

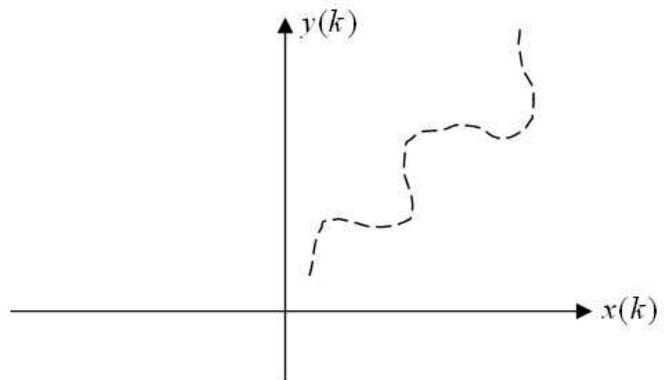
$$\begin{bmatrix} r_x(k) \\ r_y(k) \end{bmatrix} \leftarrow \begin{pmatrix} \begin{bmatrix} r_x(k) \\ r_y(k) \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} r_x(k) \\ r_y(k) \end{bmatrix} \end{pmatrix} \cdot \text{velocidade} \cdot \Delta_t$$

$\Delta_t$  é o período de amostragem;

$\text{velocidade} = 60 \text{ km/h}$ ;

$$x(k) = x(k-1) + r_x(k)$$

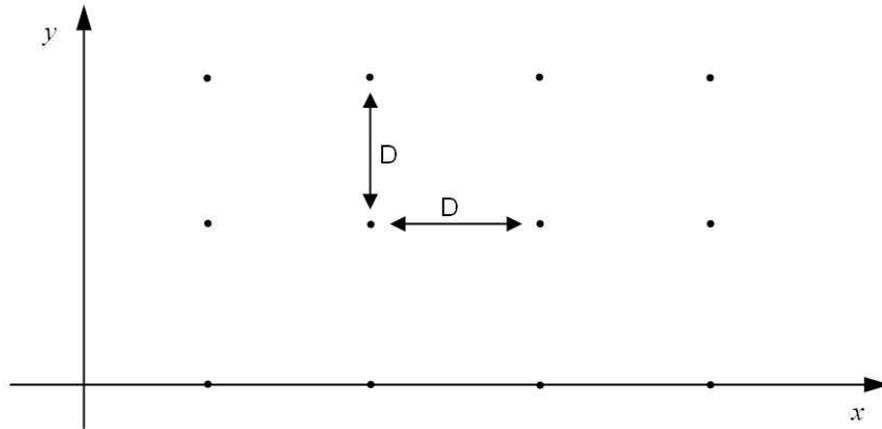
$$y(k) = y(k-1) + r_y(k)$$



**Figura 8: Exemplo de movimento aleatório de um veículo**

O ajuste dos parâmetros do modelo acima é feito empiricamente de modo a reproduzir uma estrada de sinuosidade média.

A rede de antenas no plano é simulada como sendo uma rede regularmente espaçada formando uma grade quadrada com espaçamentos horizontais e verticais dados por  $D$ . O valor deste espaçamento é um parâmetro do modelo associado à qualidade da cobertura GPRS.



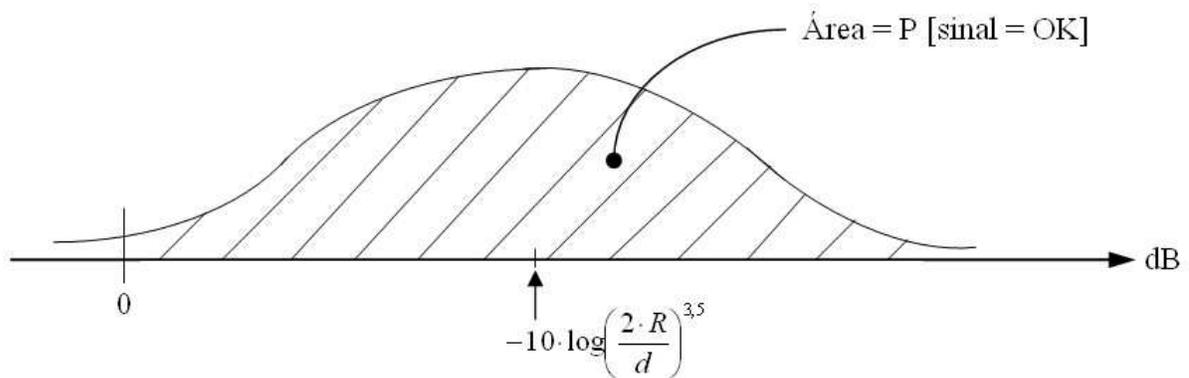
**Figura 9: Rede de antenas no plano**

O modelo utilizado para qualidade do sinal GPRS é baseado em modelos clássicos da literatura, a saber, com potência distribuída segundo uma função log-normal, isto é a potência do sinal expressa em decibéis, tem uma distribuição gaussiana. De acordo com dados usuais na literatura [12], a distribuição normal é caracterizada por:

- média =  $-10 \cdot \log\left(\frac{2 \cdot R}{d}\right)^{3,5}$
- desvio padrão = 8 dB

sendo:

- $R$  = parâmetro que define o raio de alcance da antena (foi utilizado o valor de  $R = 3000$  m)
- $d$  = distância do veículo à antena



**Figura 10 : Probabilidade da disponibilidade do sinal GPRS**

Designamos por [sinal = OK] o evento em que o sinal GPRS é adequado para comunicação. Assume-se que  $P[\text{sinal} = \text{OK}] = P[\text{potencia} \geq 0 \text{ dB}]$ , portanto tem-se que  $P[\text{sinal} = \text{OK}]$  é a área sob a gaussiana acima descrita no intervalo  $[0, \infty)$  dB (ver figura 10). Em função da distância à antena as seguintes probabilidades ocorrem:

- $d = R \rightarrow P[\text{sinal} = \text{OK}] = 0,91$
- $d = 2R \rightarrow P[\text{sinal} = \text{OK}] = 0,50$
- $d = 3R \rightarrow P[\text{sinal} = \text{OK}] = 0,22$

A probabilidade de que haja sinal GPRS num dado ponto do plano é igual à área da curva de 0 dB conforme mostrado na figura acima.

A geração de um histograma para as variáveis aleatórias  $T_{GU}$  e  $T_{GD}$  é feita da seguinte maneira:

- a) Simula-se o movimento do veículo de acordo com o modelo apresentado anteriormente;
- b) Para cada ponto do plano  $xy$  identifica-se o ponto da grade mais próxima, isto é, obtém-se a antena mais próxima do veículo (seja  $d$  esta distância);
- c) Os valores de  $d$  e  $R$  caracterizam a distribuição de potência no ponto em que está o veículo e permitem calcular a probabilidade de existência de sinal GPRS no ponto.
- d) Com esta probabilidade sorteia-se se há ou não sinal em cada ponto do trajeto do veículo.

- e) Desse modo ao longo do trajeto ocorrerão aquisições e quedas do sinal GPRS que permitirão o levantamento dos histogramas desejados.

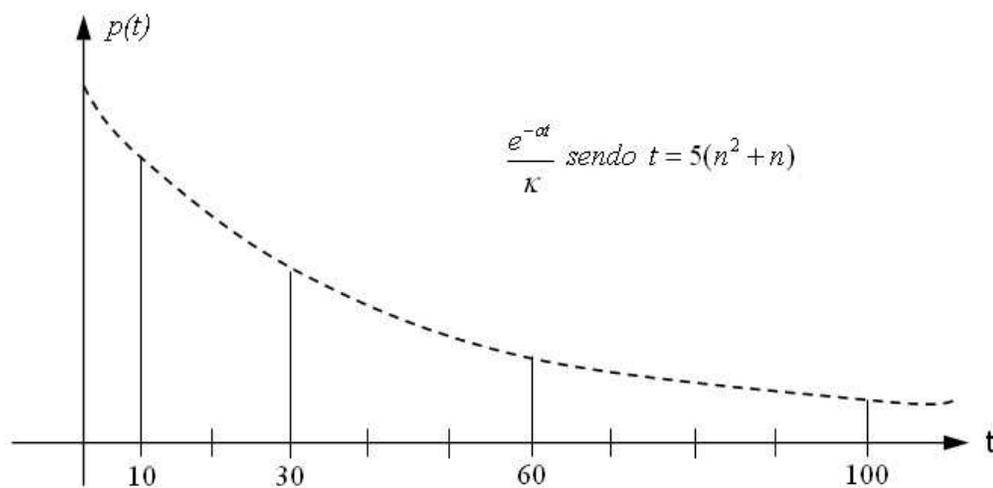
Foram gerados diversos histogramas para diferentes valores da cobertura  $D$ , permitindo, a análise em diferentes situações.

### 4.3.2 Evento GRF

A tecnologia atualmente em uso na empresa determina a tentativa de retransmissão de uma informação quando não há confirmação da transmissão desta informação pelo canal GPRS. Este fato determina a existência do estado F na máquina de estados proposta anteriormente na seção 4.2. Neste estado o sistema realiza tentativas de retransmissão espaçadas de modo crescente, até um certo limite de tempo. A variável de controle TOR define este limite. Tipicamente o espaçamento entre as tentativas de transmissão são dados por 10, 20, 30 e 40 segundos.

Desde modo tem-se que a variável aleatória associada ao tempo de vida do evento GRF é discreta, assumindo valores 10, 30, 60, 100, 150, etc. É imediato constatar que estes valores correspondem a expressão  $t = 5(n^2 + n)$  sendo  $n$  um número inteiro positivo que corresponde ao número da tentativa de retransmissão.

Aparece portanto a questão de determinar qual probabilidade iremos associar a cada um destes valores. Em razão de considerações práticas adotaram-se valores de probabilidade exponencialmente decrescentes em função do instante de sucesso de retransmissão. A figura abaixo ilustra este fato.



**Figura 11: Função exponencial envoltória para o evento GRF**

A função exponencial envoltória na figura acima é dada por  $\frac{e^{-\alpha}}{\kappa}$  sendo o parâmetro  $\alpha$  um medidor da qualidade da retransmissão e  $\kappa$  um fator de normalização.

### 4.3.2 Outros eventos não-controláveis

Os modelos empíricos para os demais eventos não controláveis, a saber, SU, SD, GRS foram escolhido seguindo as seguintes distribuições:

- SU → distribuição uniforme
- SD → distribuição exponencial
- GRF → distribuição exponencial

## 5. Validação e Resultados

Neste capítulo serão apresentadas as simulações realizadas sobre o modelo desenvolvido ao longo deste trabalho visando validar as hipóteses aqui apresentadas. As hipóteses principais relativas ao sistema em estudo são as seguintes:

Hipótese 1: O uso de valores adequados para as variáveis de controle TOR, TOG, TIG leva a ganhos significativos em relação a outras possíveis estratégias.

Hipótese 2: O uso de uma estratégia de controle baseada em um modelo markoviano (desenvolvida na seção 3.2) apresenta resultados satisfatórios quando aplicada a sistemas com outros comportamentos estocásticos.

Hipótese 3: A estratégia de controle proposta é robusta em relação às estimativas dos parâmetros do sistema.

Para cada uma destas hipóteses será realizada uma bateria de simulações visando validá-la.

Na seção 5.1 as simulações serão realizadas para o caso markoviano. Assume-se que todas as transições são exponenciais, todos os eventos e tempo de vida têm distribuição exponencial. Na seção 5.2 simularemos uma situação onde as distribuições são empíricas e diferentes dos cenários exponenciais, visando mostrar que utilizando a mesma estratégia de controle baseada no modelo markoviano, os resultados apresentados são interessantes. Finalmente na seção 5.3 simularemos uma situação onde as distribuições são empíricas. Através da estimação dos valores médios das taxas dos eventos iremos mostrar que nosso controle é robusto o suficiente, pois sendo alterado dinamicamente irá levar o nosso sistema a permanecer a maior parte do tempo nos estados efetivos de transmissão.

As simulações são baseadas em valores numéricos para as diversas distribuições aleatórias envolvidas. Baseado em considerações práticas foram determinados limites para os parâmetros envolvidos. As tabelas 1 e 2 apresentam estes valores. Na tabela 1 temos os parâmetros das

distribuições exponenciais e na tabela 2 temos os parâmetros das distribuições empíricas conforme definido na seção 4.3.

Os resultados abaixo descritos são provenientes de simulações feitas no MatLab.

**Tabela 1: Valores propostos de  $\lambda$  para simulações com distribuição exponencial**

Pares	Nº	Evento	Pior Desempenho	Melhor Desempenho
GPRS	1	GU	0,0064	0,1638
	2	GD	0,0779	0,0028
SAT	3	SU	1,15E-05	0,0083
	4	SD	0,0056	2,80E-04
RET	5	GRF	0,0113	0,0742
	6	GRS	0,0033	5,55E-04
	Nº	Evento	Mínimo	Máximo
	7	TOR	0,099	0,017
	8	TOG	0,1	0,0083
	9	TIG	0,1	0,0056

**Tabela 2: Valores propostos de parâmetros para simulações com distribuição empírica**

Pares	Nº	Evento	Parâmetro	Pior Desempenho	Melhor Desempenho
GPRS	1	GU	D (ver seção 4.3.2)	53 km	4,24 km
	2	GD		(1% de cobertura R= 3km)	(100% de cobertura R= 3km)
SAT	3	SU	uniforme	[76300 86500]	[160 200]
	4	SD	exponencial ( $\lambda$ )	0,0056	2,80E-04
RET	5	GRF	$\alpha$ (ver seção 4.3.3)	0,005	0,075
	6	GRS	exponencial ( $\lambda$ )	0,0033	5,55E-04
	Nº	Evento	Distribuição	Mínimo	Máximo
	7	TOR	determinístico	10,1	60,1
	8	TOG		10	120
	9	TIG		10	180

Conforme acima descrito os valores de  $\lambda$  dos pares GPRS, SAT e RET serão classificados com valores propostos para simulação que tentam reproduzir o que seria considerado na prática

os cenários que variam de um pior desempenho a um melhor desempenho em operações transmitindo ou retransmitindo via GPRS ou via Satélite. Estes valores são apenas um ponto de partida para as simulações e podem variar na prática.

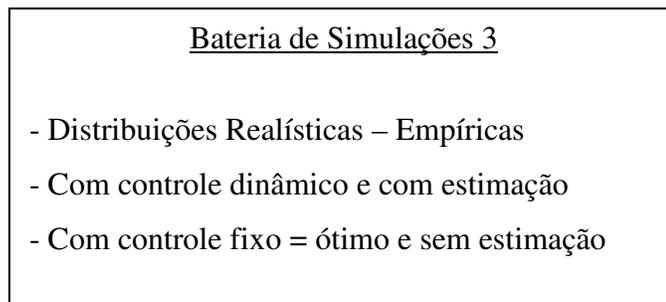
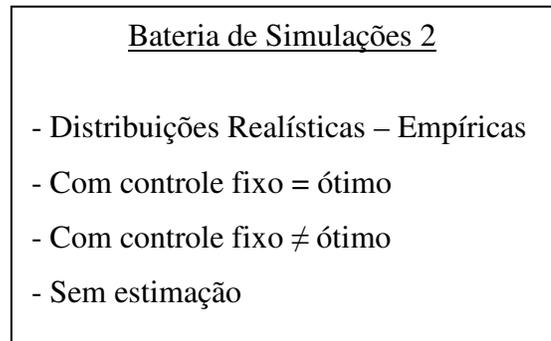
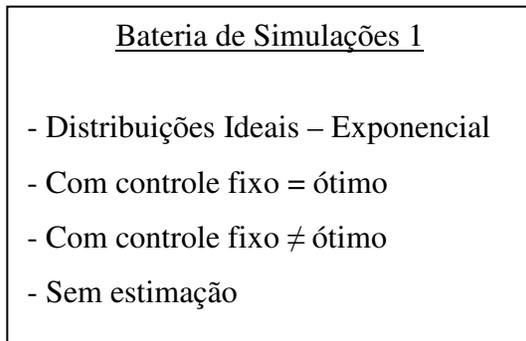
Para possibilitar a simulação de diferentes cenários iremos dividir a faixa de valores para cada par GPRS, Satélite e Retransmissão igualmente entre ruim, médio e bom. O primeiro valor da faixa “ruim” parte do valor considerado como “pior desempenho” na tabela acima proposta até um valor considerado com “médio”. O último valor da faixa “bom” termina em valor considerado como “melhor desempenho” na tabela acima proposta. A faixa de valores “ruim” será codificada como 1. A faixa de valores “médio” será codificada como 2. A faixa de valores “bom” será codificada como 3. Desta forma os pares GPRS, Satélite e Retransmissão poderão variar da seguinte forma:

**Tabela 3 - Pares de sistemas de transmissão**

Pares	Faixa de Variação
GPRS	[1:3]
SAT	[1:3]
RET	[1:3]

Para avaliar a eficiência do algoritmo, diferentes cenários serão simulados onde o controle será ajustado em sua ótima e também em condições diferentes da condição ótima. Diferentes distribuições também serão consideradas durante as simulações variando desde um cenário “exponencial” – condição ideal, até cenários “empíricos” – simulação de condições reais, onde as distribuições serão variadas utilizando diferentes tipos.

Portanto o mapa das simulações foi dividido da seguinte maneira:



Como já foi explicado anteriormente a faixa do pares GPRS, SAT e RET irão variar de “ruim” a “bom” codificados pelos valores de 1 a 3.

O algoritmo de controle irá se utilizar da variação dos valores dos eventos TOG, TOR, TIG para otimizar a operação do sistema. Conforme já explicado anteriormente, os valores dos eventos TOG, TOR, TIG ótimos estão sempre nos extremos, havendo sempre apenas duas possibilidades para cada variável. Nas simulações que serão executadas abaixo quando o controle corresponder a condição ótima, os valores de TOG, TOR, TIG serão codificados pelo valor 1. As variáveis TOG, TOR, TIG serão rotuladas pelo valor 1. Quando o controle utilizado assumir um valor diferente do ótimo, as variáveis TOG, TOR, TIG serão rotuladas pelo valor 0.

## 5.1 Baterias de Simulações 1

Nesta bateria de simulações as seguintes premissas serão consideradas:

- Distribuições Ideais – Exponencial
- Com controle fixo = ótimo
- Com controle fixo  $\neq$  ótimo
- Sem estimação

**Tabela 4 - Simulações 1**

Simulação	GPRS	SAT	RET	TOG	TOR	TIG
1	3	3	3	1	1	1
2	3	3	3	1	1	0
3	3	3	3	1	0	0
4	2	3	3	1	1	1
5	2	3	3	0	1	0
6	2	3	3	0	0	0
7	1	3	1	1	1	1
8	1	3	1	1	0	1
9	1	3	1	0	1	1
10	1	2	1	1	1	1
11	1	2	1	0	1	1
12	1	2	1	0	0	0
13	3	1	3	1	1	1
14	3	1	3	1	0	0
15	3	1	3	0	0	0

<p>1 = ruim 2 = médio 3 = bom</p>	<p>1 = valor ótimo 0 = valor diferente do ótimo</p>
---	---

### 5.1.1 Simulação Tipo 1 – Condição 333

Tabela 5 - Simulação 1 na Condição 333 -Nº1

Nº 1	Simulação Tipo 1 - Condição 3 3 3					Controle = Ótimo (1 1 1)	
GPRS = Bom		Satélite = Bom		Retransmissão GPRS = Bom			
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
1,4%	0,2%	97,1%	0,2%	0,5%	0,4%	0,2%	

Tabela 6 - Simulação 1 na Condição 333 -Nº2

Nº 2	Simulação Tipo 1 - Condição 3 3 3					Controle ≠ Ótimo (1 1 0)	
GPRS = Bom		Satélite = Bom		Retransmissão GPRS = Bom			
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,20%	0,03%	8,79%	1,56%	89,2%	0,00%	0,18%	

Tabela 7 - Simulação 1 na Condição 333 -Nº3

Nº 3	Simulação Tipo 1 - Condição 3 3 3					Controle ≠ Ótimo (1 0 0)	
GPRS = Bom		Satélite = Bom		Retransmissão GPRS = Bom			
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,00%	0,00%	0,57%	1,74%	97,4%	0,00%	0,30%	

Nas simulações acima onde temos uma condição ideal com distribuições exponenciais, podemos notar que quando temos o sinal de GPRS, Satélite e Retransmissão na melhor condição (Bom) e o controle é igual ao ótimo, o nosso algoritmo de controle leva o sistema a permanecer a maior parte do tempo em transmissão GPRS (Tabela 5). Podemos perceber que a permanência nos demais estados são mínimas e o aproveitamento para transmissão GPRS é de um percentual considerado excelente. Já quando alteramos os valores de TOG, TIG e TOR para uma condição diferente do ótimo, podemos notar que a permanência no estado C de transmissão GPRS é decrescida expressivamente a valores próximo de 0 (Tabela 7). Totalmente mal aproveitado considerando que a condição do sinal de GPRS é a melhor (Bom). Desta forma podemos concluir que a manipulação e a combinação dos valores dos eventos de controle irá ser fundamental para operação adequada do sistema.

### 5.1.2 Simulação Tipo 1 – Condição 233

**Tabela 8 - Simulação 1 na Condição 233 -Nº4**

Nº 4	Simulação Tipo 1 - Condição 2 3 3					Controle = Ótimo (1 1 1)	
GPRS = Médio		Satélite = Bom			Retransmissão GPRS = Bom		
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
27,3%	0,8%	68,6%	1,7%	1,0%	0,2%	0,4%	
27,3%	0,8%	68,6%	2,7%		0,2%	0,4%	

**Tabela 9 - Simulação 1 na Condição 233 -Nº5**

Nº 5	Simulação Tipo 1 - Condição 2 3 3					Controle ≠ Ótimo (0 1 0)	
GPRS = Médio		Satélite = Bom			Retransmissão GPRS = Bom		
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,0%	0,1%	0,0%	31,4%	68,3%	0,0%	0,1%	
0,0%	0,1%	0,0%	99,7%		0,0%	0,1%	

**Tabela 10 - Simulação 1 na Condição 233 -Nº6**

Nº 6	Simulação Tipo 1 - Condição 2 3 3					Controle ≠ Ótimo (0 0 0)	
GPRS = Médio		Satélite = Bom			Retransmissão GPRS = Bom		
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
13,7%	0,0%	27,9%	18,2%	39,7%	0,3%	0,2%	
13,7%	0,0%	27,9%	57,9%		0,3%	0,2%	

Nas simulações acima onde temos uma condição ideal com distribuições exponenciais, podemos notar que quando temos o sinal de GPRS em um condição de sinal mediana (Médio), Satélite e Retransmissão na melhor condição (Bom) e o controle é igual ao ótimo, o nosso algoritmo de controle leva o sistema a permanecer a maior parte do tempo em transmissão GPRS (Tabela 8). Podemos perceber que como o sinal GPRS está em uma condição mediana, o tempo de permanência no estado A é aumentado. Importante lembrar que o estado A é o inicial onde o sistema tenta a conexão a rede GPRS. Mesmo o sistema estando sem uma excelente disponibilidade do sinal GPRS, ainda se consegue um aproveitando de quase 70% da rede GPRS e um pouco da rede Satélite. Apesar da alta disponibilidade da rede de Satélite, o nosso sistema irá sempre priorizar a rede GPRS pelo baixo custo comparado ao Satélite. Já quando alteramos os valores de TOG, TIG e TOR para valores diferente do ótimo, podemos notar que a permanência no estado C de transmissão GPRS pode até zerar (Tabela 9) lembrando que o sinal GPRS se encontra em uma condição mediana. No terceiro exemplo de condição diferente do ótimo (Tabela 10) o sistema aumentou a permanência no estado C mas em um valor inferior a 30%. Este valor

pode ser melhorado levando em conta os resultados apresentados quando o controle corresponde a sua condição ótima.

### 5.1.3 Simulação Tipo 1 – Condição 131

**Tabela 11 - Simulação 1 na Condição 131 -Nº7**

Nº 7	Simulação Tipo 1 - Condição 1 3 1					Controle = Ótimo (1 1 1)	
GPRS = Ruim		Satélite = Bom		Retransmissão GPRS = Ruim			
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,2%	0,5%	0,1%	93,5%	5,8%	0,0%	0,0%	
0,2%	0,5%	0,1%	99,3%		0,0%	0,0%	

**Tabela 12 - Simulação 1 na Condição 131 -Nº8**

Nº 8	Simulação Tipo 1 - Condição 1 3 1					Controle ≠ Ótimo (1 0 1)	
GPRS = Ruim		Satélite = Bom		Retransmissão GPRS = Ruim			
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
8,0%	0,7%	2,1%	82,9%	6,2%	0,0%	0,0%	
1,1%	4,4%	0,0%	89,2%		0,0%	0,4%	

**Tabela 13 - Simulação 1 na Condição 131 -Nº9**

Nº 9	Simulação Tipo 1 - Condição 1 3 1					Controle ≠ Ótimo (0 1 1)	
GPRS = Ruim		Satélite = Bom		Retransmissão GPRS = Ruim			
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,5%	5,2%	6,6%	85,1%	0,5%	2,0%	0,0%	
0,5%	5,2%	6,6%	85,6%		2,0%	0,0%	

Nas simulações acima onde temos uma condição ideal com distribuições exponenciais, podemos notar que quando temos o sinal de GPRS e Retransmissão em uma condição de sinal baixo (Ruim) e Satélite na melhor condição (Bom) e o controle sendo igual ao ótimo, o nosso algoritmo de controle leva o sistema a permanecer a maior parte do tempo em transmissão Satélite (Tabela 11). O sistema permanece mais de 99% disponível para transmissão via Satélite quando o controle é igual a ótimo e diminui quando o controle é diferente do ótimo. Podemos citar como exemplo a situação de controle não ótimo nos resultados da Tabela 13 onde o sistema permanece quase 7% no estado para transmissão GPRS sendo que a condição do sinal é ruim.

### 5.1.4 Simulação Tipo 1 – Condição 121

**Tabela 14 - Simulação 1 na Condição 121 -Nº10**

Nº 10	Simulação Tipo 1 - Condição 1 2 1					Controle = Ótimo (1 1 1)	
GPRS = Ruim		Satélite = Médio			Retransmissão GPRS = Ruim		
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,2%	5,4%	0,5%	86,5%	7,1%	0,0%	0,3%	
0,2%	5,4%	0,5%	93,6%		0,0%	0,3%	

**Tabela 15 - Simulação 1 na Condição 121 -Nº11**

Nº 11	Simulação Tipo 1 - Condição 1 2 1					Controle ≠ Ótimo (0 1 1)	
GPRS = Ruim		Satélite = Médio			Retransmissão GPRS = Ruim		
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,6%	12,9%	6,7%	77,4%	0,5%	1,9%	0,0%	
0,6%	12,9%	6,7%	77,8%		1,9%	0,0%	

**Tabela 16 - Simulação 1 na Condição 121 -Nº12**

Nº 12	Simulação Tipo 1 - Condição 1 2 1					Controle ≠ Ótimo (0 0 0)	
GPRS = Ruim		Satélite = Médio			Retransmissão GPRS = Ruim		
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
3,0%	4,9%	0,2%	84,2%	7,1%	0,2%	0,3%	
3,0%	4,9%	0,2%	91,4%		0,2%	0,3%	

Nas simulações acima onde temos uma condição ideal com distribuições exponenciais, podemos notar que quando temos o sinal de GPRS e Retransmissão em uma condição de sinal baixo (Ruim), o Satélite em uma condição de sinal mediana (Médio) e o controle sendo igual ao ótimo, o nosso algoritmo de controle leva o sistema a permanecer a maior parte do tempo em transmissão via Satélite (Tabela 14). Interessante notar que como o sinal de Satélite é médio, a percentagem de disponibilidade nos estados de transmissão via Satélite diminui para menos de 93% em comparação ao resultado encontrado no item 5.1.3 quando o sinal de Satélite estava na melhor condição (Bom). Isto explica a permanência do sistema em mais de 5% nos estado B. Como o sinal não está na melhor condição, o sistema tende a permanecer mais tempo na procura da disponibilidade de um sinal para transmissão.

Quando o controle é diferente do ótimo a disponibilidade para transmissão via Satélite cai mais de 15% e o sistema fica disponível para transmissão onde o sinal de GPRS é ruim (Tabela 15).

### 5.1.5 Simulação Tipo 1 – Condição 313

Tabela 17 - Simulação 1 na Condição 313 - N°13

N° 13	Simulação Tipo 1 - Condição 3 1 3					Controle = Ótimo (1 1 1)	
GPRS = Bom		Satélite = Ruim			Retransmissão GPRS = Bom		
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,3%	1,7%	97,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	

Tabela 18 - Simulação 1 na Condição 313 - N°14

N° 14	Simulação Tipo 1 - Condição 3 1 3					Controle ≠ Ótimo (1 0 0)	
GPRS = Bom		Satélite = Ruim			Retransmissão GPRS = Bom		
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,0%	0,8%	4,5%	0,9%	47,5%	0,0%	46,2%	
0,0%	0,8%	4,5%	48,4%		0,0%	46,2%	

Tabela 19 - Simulação 1 na Condição 313 - N°15

N° 15	Simulação Tipo 1 - Condição 3 1 3					Controle ≠ Ótimo (0 0 0)	
GPRS = Bom		Satélite = Ruim			Retransmissão GPRS = Bom		
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,0%	0,9%	0,0%	0,8%	46,1%	0,0%	52,2%	
0,0%	0,9%	0,0%	46,9%		0,0%	52,2%	

Nas simulações acima onde temos uma condição ideal com distribuições exponenciais, podemos notar que quando temos o sinal de GPRS e Retransmissão na melhor condição (Bom), o Satélite em uma condição de sinal baixo (Ruim) e o controle sendo igual ao ótimo, o nosso algoritmo de controle leva o sistema a permanecer a maior parte do tempo em transmissão GPRS (Tabela 17). Podemos perceber que a permanência nos demais estados são mínimas e o aproveitamento para transmissão GPRS é de um percentual considerado excelente. Já quando alteramos os valores de TOG, TIG e TOR para uma condição diferente do ótimo, um fato curioso acontece onde o sistema permanece por volta de 50% no estado G (Tabelas 18 e 19). O estado G é um estado intermediário entre o estado C onde o sistema está conectado a rede GPRS, mas ainda não está habilitado para realizar transmissões. O objetivo deste estado é garantir que o sinal de GPRS esteja estabilizado antes de mudar para o estado C. Como o sinal de GPRS está na melhor condição (Bom) o sistema deveria ser levado diretamente para o estado C. Mas como estamos com valores de controle diferente do ótimo, o sistema permanece um tempo extremamente longo em G e depois muda para o estado E e D onde o sinal de satélite está baixo e o sistema cai frequentemente voltando para G. Desta forma podemos concluir que com estes

valores de TOG, TIG e TOR, a condição de operação está totalmente mal aproveitada considerando que a condição do sinal de GPRS é a melhor (Bom).

## 5.2 Baterias de Simulações 2

Nesta bateria de simulações as seguintes premissas serão consideradas:

- Distribuições Realísticas – Empíricas
- Com controle fixo = ótimo
- Com controle fixo  $\neq$  ótimo
- Sem estimação

**Tabela 20 - Simulações 2**

Simulação	GPRS	SAT	RET	TOG	TOR	TIG
16	3	3	3	1	1	1
17	3	3	3	0	0	1
18	3	3	3	0	1	0
19	2	3	3	1	1	1
20	2	3	3	0	1	1
21	2	3	3	0	1	0
22	1	3	1	1	1	1
23	1	3	1	1	0	1
24	1	3	1	0	0	1
25	1	2	1	1	1	1
26	1	2	1	0	0	1
27	1	2	1	1	0	0
28	3	1	3	1	1	1
29	3	1	3	1	1	0
30	3	1	3	0	1	0

<p>1 = ruim 2 = médio 3 = bom</p>	<p>1 = valor ótimo 0 = valor diferente do ótimo</p>
---	---

### 5.2.1 Simulação Tipo 2 – Condição 333

Tabela 21 - Simulação 2 na Condição 333 -Nº16

Nº 16	Simulação Tipo 2 - Condição 3 3 3					Controle = Ótimo (1 1 1)	
GPRS = Bom		Satélite = Bom		Retransmissão GPRS = Bom			
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,0%	1,6%	98,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	

Tabela 22 - Simulação 2 na Condição 333 -Nº17

Nº 17	Simulação Tipo 2 - Condição 3 3 3					Controle ≠ Ótimo (0 0 1)	
GPRS = Bom		Satélite = Bom		Retransmissão GPRS = Bom			
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
2,5%	0,1%	96,8%	0,0%	0,0%	0,6%	0,0%	

Tabela 23 - Simulação 2 na Condição 333 -Nº18

Nº 18	Simulação Tipo 2 - Condição 3 3 3					Controle ≠ Ótimo (0 1 0)	
GPRS = Bom		Satélite = Bom		Retransmissão GPRS = Bom			
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,0%	0,0%	0,0%	1,6%	98,2%	0,0%	0,2%	
0,0%	0,0%	0,0%	99,8%		0,0%	0,2%	

Nas simulações acima onde temos uma condição real com distribuições empíricas, podemos notar que quando temos o sinal de GPRS, Satélite e Retransmissão na melhor condição (Bom) e o controle é igual ao ótimo, o nosso algoritmo de controle leva o sistema a permanecer a maior parte do tempo em transmissão GPRS (Tabela 21). Podemos perceber que a permanência nos demais estados são mínimas e o aproveitamento para transmissão GPRS é de um percentual considerado excelente. Já quando alteramos os valores de TOG, TIG e TOR para uma condição diferente do ótimo, podemos notar que a permanência no estado C de transmissão GPRS é decrescida a 0 (Tabela 23). Totalmente mal aproveitado considerando que a condição do sinal de GPRS é a melhor (Bom). Temos um exemplo também (Tabela 22) onde apesar de controle ser diferente do ótimo, pode-se notar que a permanência no estado C de transmissão GPRS é bem interessante. Desta forma podemos concluir que a manipulação e a combinação dos valores dos eventos de controle irá ser fundamental para operação adequada do sistema.

## 5.2.2 Simulação Tipo 2 – Condição 233

Tabela 24 - Simulação 2 na Condição 233 -Nº19

Nº 19	Simulação Tipo 2 - Condição 2 3 3					Controle = Ótimo (1 1 1)	
GPRS = Médio		Satélite = Bom			Retransmissão GPRS = Bom		
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,2%	17,1%	79,3%	3,4%	0,0%	0,0%	0,0%	

Tabela 25 - Simulação 2 na Condição 233 -Nº20

Nº 20	Simulação Tipo 2 - Condição 2 3 3					Controle ≠ Ótimo (0 1 1)	
GPRS = Médio		Satélite = Bom			Retransmissão GPRS = Bom		
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
4,9%	0,0%	11,1%	27,0%	56,8%	0,0%	0,1%	
4,9%	0,0%	11,1%	83,8%		0,0%	0,1%	

Tabela 26 - Simulação 2 na Condição 233 -Nº21

Nº 21	Simulação Tipo 2 - Condição 2 3 3					Controle ≠ Ótimo (0 1 0)	
GPRS = Médio		Satélite = Bom			Retransmissão GPRS = Bom		
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,0%	0,0%	0,0%	18,7%	80,9%	0,0%	0,3%	
0,0%	0,0%	0,0%	99,7%		0,0%	0,3%	

Nas simulações acima onde temos uma condição real com distribuições empíricas, podemos notar que quando temos o sinal de GPRS em um condição de sinal mediana (Médio), Satélite e Retransmissão na melhor condição (Bom) e o controle é igual ao ótimo, o nosso algoritmo de controle leva o sistema a permanecer a maior parte do tempo em transmissão GPRS (Tabela 24). Mesmo o sistema estando sem uma excelente disponibilidade do sinal GPRS, ainda se consegue um aproveitamento de quase 80% da rede GPRS. Como o sinal de GPRS está pior do que o sinal de Satélite, o valor de TOG é mínimo, o que facilita a ida para o estado B. Mesmo que o sinal de GPRS está em uma condição mediana, o nosso algoritmo dá prioridade para conexão na rede GPRS na proporção de 4 para 1 em relação a rede de Satélite. Desta forma o sistema acaba indo com mais frequência para o estado G do que para o estado D. Como o valor de TIG é mínimo, o sistema quase não permaneceu em G, indo quase imediatamente para C fechando o ciclo. Já quando alteramos os valores de TOG, TIG e TOR para valores diferente do ótimo, podemos notar que a permanência no estado C de transmissão GPRS pode até zerar (Tabela 26) lembrando que o sinal GPRS se encontra em uma condição mediana. A permanência no estado C pode melhorar um pouco em uma outra condição onde controle é diferente do ótimo (Tabela 25), mas mesmo assim mal aproveitada levando em conta a condição mediana do sinal de GPRS.

### 5.2.3 Simulação Tipo 2 – Condição 131

Tabela 27 - Simulação 2 na Condição 131 -Nº22

Nº 22	Simulação Tipo 2 - Condição 1 3 1					Controle = Ótimo (1 1 1)	
GPRS = Ruim		Satélite = Bom		Retransmissão GPRS = Ruim			
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,5%	5,2%	5,9%	87,9%	0,4%	0,0%	0,1%	
0,5%	5,2%	5,9%	88,3%	0,0%	0,0%	0,1%	

Tabela 28 - Simulação 2 na Condição 131 -Nº23

Nº 23	Simulação Tipo 2 - Condição 1 3 1					Controle ≠ Ótimo (1 0 1)	
GPRS = Ruim		Satélite = Bom		Retransmissão GPRS = Ruim			
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
90,9%	0,3%	6,2%	2,6%	0,0%	0,0%	0,0%	

Tabela 29 - Simulação 2 na Condição 131 -Nº24

Nº 24	Simulação Tipo 2 - Condição 1 3 1					Controle ≠ Ótimo (0 0 1)	
GPRS = Ruim		Satélite = Bom		Retransmissão GPRS = Ruim			
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
89,2%	0,3%	8,6%	1,9%	0,0%	0,0%	0,0%	

Nas simulações acima onde temos uma condição real com distribuições empíricas, podemos notar que quando temos o sinal de GPRS e Retransmissão em uma condição de sinal baixo (Ruim) e Satélite na melhor condição (Bom) e o controle sendo igual ao ótimo, o nosso algoritmo de controle leva o sistema a permanecer a maior parte do tempo em transmissão Satélite (Tabela 27). O sistema permanece mais de 88% disponível para transmissão via Satélite quando o controle é igual a ótimo. Entretanto quando o controle é diferente do ótimo como mostrado nos exemplo acima (Tabelas 28 e 29), temos uma permanência da maior parte do tempo no estado A. Como o valor de TOG é extremamente alto, o sistema fica a maior do tempo em A e algumas vezes se conecta a C. Entretanto como o sinal de GPRS e o de Retransmissão estão muito ruins, o sistema cai rapidamente retornando ao estado A. Mais uma vez a importância da escolha correta dos valores de TOG, TIG e TOR pelo nosso algoritmo é demonstrada.

### 5.2.4 Simulação Tipo 2 – Condição 121

Tabela 30 - Simulação 2 na Condição 121 -Nº25

Nº 25	Simulação Tipo 2 - Condição 1 2 1					Controle = Ótimo (1 1 1)	
GPRS = Ruim		Satélite = Médio			Retransmissão GPRS = Ruim		
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,6%	35,5%	5,4%	58,0%	0,0%	0,0%	0,5%	
0,6%	35,5%	5,4%	58,0%	0,0%	0,0%	0,5%	

Tabela 31 - Simulação 2 na Condição 121 -Nº26

Nº 26	Simulação Tipo 2 - Condição 1 2 1					Controle ≠ Ótimo (0 0 1)	
GPRS = Ruim		Satélite = Médio			Retransmissão GPRS = Ruim		
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
90,5%	0,7%	8,5%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	

Tabela 32 - Simulação 2 na Condição 121 -Nº27

Nº 27	Simulação Tipo 2 - Condição 1 2 1					Controle ≠ Ótimo (1 0 0)	
GPRS = Ruim		Satélite = Médio			Retransmissão GPRS = Ruim		
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
5,8%	19,2%	0,0%	66,4%	6,1%	0,0%	2,5%	
5,8%	19,2%	0,0%	72,5%	0,0%	0,0%	2,5%	

Nas simulações acima onde temos uma condição real com distribuições empíricas, podemos notar que quando temos o sinal de GPRS e Retransmissão em uma condição de sinal baixo (Ruim), o Satélite em uma condição de sinal mediana (Médio) e o controle sendo igual ao ótimo, o nosso algoritmo de controle leva o sistema a permanecer a maior parte do tempo em transmissão via Satélite (Tabela 30). Interessante notar que como o sinal de Satélite é médio, o sistema permanece percentualmente bastante tempo no estado B onde ambos sinais de Satélite e GPRS estão sendo procurados para conexão. Como o sinal não está na melhor condição, o sistema tende a permanecer mais tempo na procura da disponibilidade de um sinal para transmissão. Quando o controle é diferente do ótimo (Tabela 31) o sistema fica desbalanceado permanecendo a maior parte do tempo no estado A. Isto não deveria acontecer considerando que o sinal de GPRS e Retransmissão são muito ruins e o sinal de Satélite é médio. Entretanto temos outra condição curiosa onde o controle é diferente do ótimo (Tabela 32), mas o sistema fica a maior parte do tempo em transmissão via Satélite. O curioso nesta situação é que o sistema fica transmitindo em Satélite em uma condição percentualmente maior que na situação onde controle é igual ao ótimo.

## 5.2.5 Simulação Tipo 2 – Condição 313

Tabela 33 - Simulação 2 na Condição 313 -Nº28

Nº 28	Simulação Tipo 2 - Condição 3 1 3					Controle = Ótimo (1 1 1)	
GPRS = Bom		Satélite = Ruim			Retransmissão GPRS = Bom		
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,0%	1,8%	98,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	

Tabela 34 - Simulação 2 na Condição 313 -Nº29

Nº 29	Simulação Tipo 2 - Condição 3 1 3					Controle ≠ Ótimo (1 1 0)	
GPRS = Bom		Satélite = Ruim			Retransmissão GPRS = Bom		
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,0%	0,9%	0,0%	0,9%	49,7%	0,0%	48,5%	
0,0%	0,9%	0,0%	50,6%		0,0%	48,5%	

Tabela 35 - Simulação 2 na Condição 313 -Nº30

Nº 30	Simulação Tipo 2 - Condição 3 1 3					Controle ≠ Ótimo (0 1 0)	
GPRS = Bom		Satélite = Ruim			Retransmissão GPRS = Bom		
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,0%	0,7%	0,0%	0,9%	51,9%	0,0%	46,4%	
0,0%	0,7%	0,0%	52,8%		0,0%	46,4%	

Nas simulações acima onde temos uma condição real com distribuições empíricas, podemos notar que quando temos o sinal de GPRS e Retransmissão na melhor condição (Bom), o Satélite em uma condição de sinal baixo (Ruim) e o controle sendo igual ao ótimo, o nosso algoritmo de controle leva o sistema a permanecer a maior parte do tempo em transmissão GPRS (Tabela 73). Podemos perceber que a permanência nos demais estados são mínimas e o aproveitamento para transmissão GPRS é de um percentual considerado excelente. Já quando alteramos os valores de TOG, TIG e TOR para uma condição diferente do ótimo, um fato curioso acontece onde o sistema permanece por volta de 50% no estado G (Tabelas 18 e 19). O estado G é um estado intermediário entre o estado C onde o sistema está conectado a rede GPRS, mas ainda não está habilitado para realizar transmissões. O objetivo deste estado é garantir que o sinal de GPRS esteja estabilizado antes de mudar para o estado C. Como o sinal de GPRS está na melhor condição (Bom) o sistema deveria ser levado diretamente para o estado C. Mas como estamos com valores de controle diferente do ótimo, o sistema permanece um tempo extremamente longo em G e depois muda para o estado E e D onde o sinal de satélite está baixo e o sistema cai frequentemente voltando para G. Desta forma podemos concluir que com estes

valores de TOG, TIG e TOR, a condição de operação está totalmente mal aproveitada considerando que a condição do sinal de GPRS é a melhor (Bom).

### 5.3 Baterias de Simulações 3

Nesta seção as simulações serão divididas em 2 baterias conforme descrito na seqüência.

Na bateria de simulações conforme resultados apresentados na seção 5.3.1 as seguintes premissas serão consideradas:

- Distribuições Realísticas – Empíricas
- Com controle dinâmico
- Com estimação

Será feita uma seqüência de simulações em 5 estágios que irão durar um certo período cada um, sendo considerada uma variação da qualidade dos sinais de GPRS, SAT, RET para cada estágio. Será utilizado um controle dinâmico para os valores de TIG, TOG e TOR baseado na estimativa dos valores médios das taxas de transição dos eventos que serão classificados em ruim, médio e bom.

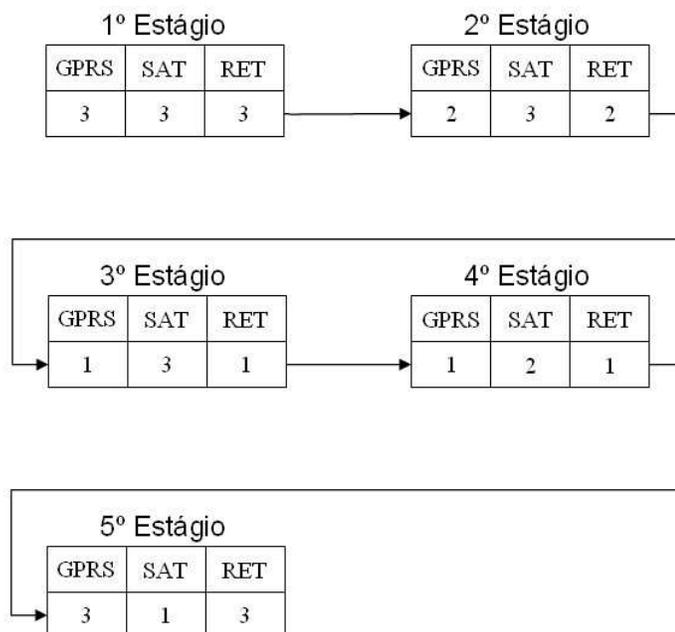


Figura 12: Seqüência de variação da qualidade do sinais de transmissão

Na bateria de simulações conforme resultados apresentados na seção 5.3.2 as seguintes premissas serão consideradas:

- Distribuições Realísticas – Empíricas

- Com controle = ótimo

- Sem estimação

Será feita uma seqüência de simulações em 5 estágios que irão durar um certo período cada um, sendo considerada uma variação da qualidade dos sinais de GPRS, SAT, RET para cada estágio. Será utilizada uma ação de controle fixa para os valores ótimos de TIG, TOG e TOR.

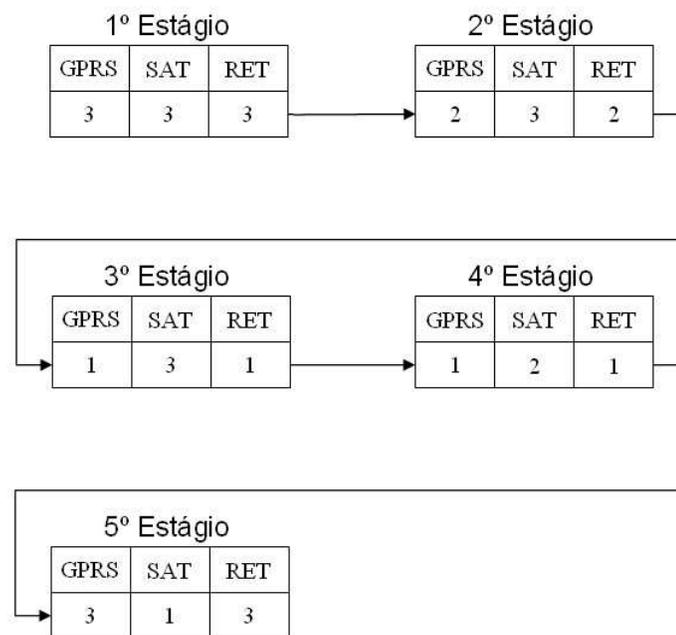


Figura 13: Seqüência de variação da qualidade do sinais de transmissão

### 5.3.1 Resultados das Simulações do Tipo 3 com controle dinâmico

**Tabela 36 – Simulação 3 – Condição 333 – Estágio 1 – N° 31**

N° 31	Simulação Tipo 3 - Condição 3 3 3					Controle Dinâmico	
GPRS = Bom		Satélite = Bom			Retransmissão GPRS = Bom		
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,4%	0,9%	98,5%	0,0%	0,0%	0,1%	0,2%	

**Tabela 37 – Simulação 3 – Condição 232 – Estágio 2 – N° 32**

N° 32	Simulação Tipo 3 - Condição 2 3 2					Controle Dinâmico	
GPRS = Médio		Satélite = Bom			Retransmissão GPRS = Médio		
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
13,3%	9,9%	73,5%	1,6%	0,4%	0,2%	0,1%	

**Tabela 38 – Simulação 3 – Condição 131 – Estágio 3 – N° 33**

N° 33	Simulação Tipo 3 - Condição 1 3 1					Controle Dinâmico	
GPRS = Ruim		Satélite = Bom			Retransmissão GPRS = Ruim		
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,8%	7,1%	10,3%	81,0%	0,5%	0,1%	0,3%	
0,8%	7,1%	10,3%	81,5%		0,1%	0,3%	

**Tabela 39 – Simulação 3 – Condição 121 – Estágio 4 – N° 34**

N° 34	Simulação Tipo 3 - Condição 1 2 1					Controle Dinâmico	
GPRS = Ruim		Satélite = Médio			Retransmissão GPRS = Ruim		
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,6%	40,5%	7,8%	50,3%	0,2%	0,0%	0,5%	
0,6%	40,5%	7,8%	50,5%		0,0%	0,5%	

**Tabela 40 – Simulação 3 – Condição 313 – Estágio 5 – N° 35**

N° 35	Simulação Tipo 3 - Condição 3 1 3					Controle Dinâmico	
GPRS = Bom		Satélite = Ruim			Retransmissão GPRS = Bom		
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
1,0%	1,8%	96,1%	1,1%	0,0%	0,0%	0,0%	

Nesta seqüência de simulações onde as distribuições são empíricas podemos perceber que o controle dinâmico com estimação média dos valores das taxas de transição é eficiente, pois o sistema permanece na maior parte do tempo em transmissão GPRS ou Satélite de acordo a condição do sinal das redes GPRS ou Satélite em cada estágio. No primeiro estágio (Tabela 36)

podemos perceber que como neste momento temos os melhores valores de GPRS, Satélite e Retransmissão, o controle dinâmico levou o sistema a permanecer a maior parte do tempo transmitindo em GPRS, que é o sistema prioritário para transmissão de informações. No segundo estágio (Tabela 37) o resultado também é interessante, pois o sistema permaneceu a maior parte do tempo transmitindo mesmo levando em conta a queda de qualidade do sinal GPRS. No terceiro estágio (Tabela 38) temos uma situação onde o sinal de GPRS, e por consequência o de Retransmissão estão ruins, e o sinal de Satélite está bom. Desta forma o controle dinâmico percebe que as médias estatísticas dos valores das taxas de transição para os estados de GPRS e Retransmissão estão muito baixos e altera os valores de TIG, TOG e TOR para levar o sistema a permanecer a maior parte do tempo em transmissão via Satélite. No quarto estágio (Tabela 39) temos uma queda na qualidade do sinal Satélite fazendo com que a probabilidade de permanência no estado de transmissão diminua. Entretanto percebemos que a atuação do controle dinâmico continua efetiva, pois o sistema ainda permanece a maior parte do tempo em transmissão Satélite. Como o sinal GPRS está muito ruim e o Satélite médio, o sistema pode perder o sinal freqüentemente explicado pela alta permanência no estado B onde o sistema está à procura de um meio disponível para transmissão. No quinto e último estágio (Tabela 40) o controle dinâmico leva o sistema a permanecer a maior do tempo em transmissão GPRS, pois o sinal de GPRS está bom.

**Tabela 41 – Simulação 3 – Média dos 5 Estágios – N° 36**

N° 36	Simulação Tipo 3 - Média dos 5 Estágios				Controle Dinâmico	
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G
3,2%	10,9%	57,2%	28,2%		0,1%	0,4%
3,2%	10,9%	85,4%			0,1%	0,4%

Percentagem média total em  
transmissão GPRS + Satélite

Na tabela 41 temos uma média da somatória da probabilidade de permanência do sistema em cada estado em todos os estágios. Podemos concluir que a estimativa dos valores médios das taxas de transição dos eventos pelo controle dinâmico foi efetiva, pois levou o sistema a permanecer mais de 85% em transmissão efetiva para todo período.

### 5.3.2 Resultados das Simulações do Tipo 3 com controle fixo

**Tabela 42 – Simulação 3 – Condição 333 – Estágio 1 – N° 37**

N° 31	Simulação Tipo 3 - Condição 3 3 3					Controle Dinâmico	
GPRS = Bom		Satélite = Bom		Retransmissão GPRS = Bom			
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,2%	1,2%	98,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	

**Tabela 43 – Simulação 3 – Condição 232 – Estágio 2 – N° 38**

N° 32	Simulação Tipo 3 - Condição 2 3 2					Controle Dinâmico	
GPRS = Médio		Satélite = Bom		Retransmissão GPRS = Médio			
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
2,5%	17,1%	73,6%	4,2%	0,8%	0,0%	1,8%	

**Tabela 44 – Simulação 3 – Condição 131 – Estágio 3 – N° 39**

N° 33	Simulação Tipo 3 - Condição 1 3 1					Controle Dinâmico	
GPRS = Ruim		Satélite = Bom		Retransmissão GPRS = Ruim			
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,8%	6,7%	8,7%	83,1%	0,5%	0,0%	0,3%	
0,8%	6,7%	8,7%	83,6%		0,0%	0,3%	

**Tabela 45 – Simulação 3 – Condição 121 – Estágio 4 – N° 40**

N° 34	Simulação Tipo 3 - Condição 1 2 1					Controle Dinâmico	
GPRS = Ruim		Satélite = Médio		Retransmissão GPRS = Ruim			
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,7%	42,6%	8,3%	47,5%	0,2%	0,0%	0,6%	
0,7%	42,6%	8,3%	47,7%		0,0%	0,6%	

**Tabela 46 – Simulação 3 – Condição 313 – Estágio 5 – N° 41**

N° 35	Simulação Tipo 3 - Condição 3 1 3					Controle Dinâmico	
GPRS = Bom		Satélite = Ruim		Retransmissão GPRS = Bom			
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,2%	2,1%	96,3%	1,2%	0,0%	0,0%	0,2%	

Nesta seqüência de simulações onde as distribuições são empíricas e os parâmetros de controle são perfeitamente conhecidos podemos perceber que o controle dinâmico com estimação média dos valores das taxas de transição é eficiente, pois o sistema permanece na maior parte do tempo em transmissão GPRS ou Satélite de acordo a condição do sinal das redes GPRS ou Satélite em cada estágio. No primeiro estágio (Tabela 42) podemos perceber que com ações de controle fixadas em seus valores ótimos e aplicadas em um cenário onde temos a melhor

condição dos valores de GPRS, Satélite e Retransmissão, o sistema permaneceu a maior parte do tempo transmitindo em GPRS, que é o sistema prioritário para transmissão de informações. No segundo estágio (Tabela 37) o resultado também é interessante, pois o sistema permaneceu a maior parte do tempo transmitindo mesmo levando em conta a queda de qualidade do sinal GPRS. No terceiro estágio (Tabela 38) temos uma situação onde o sinal de GPRS, e por consequência o de Retransmissão estão ruins, e o sinal de Satélite está bom. Desta forma os valores de TIG, TOG e TOR fixados em seus valores ótimos leva o sistema a permanecer a maior parte do tempo em transmissão via Satélite. No quarto estágio (Tabela 39) temos uma queda na qualidade do sinal Satélite fazendo com que a probabilidade de permanência no estado de transmissão diminua. Mais uma vez ações de controle fixadas em seus valores ótimos leva o sistema ainda a permanece a maior parte do tempo em transmissão Satélite. Como o sinal GPRS está muito ruim e o Satélite médio, o sistema pode perder o sinal frequentemente explicado pela alta permanência no estado B onde o sistema está à procura de um meio disponível para transmissão. No quinto e último estágio (Tabela 40) os valores de TIG, TOG e TOR fixados em seus valores ótimos leva o sistema a permanecer a maior do tempo em transmissão GPRS, pois o sinal de GPRS está bom.

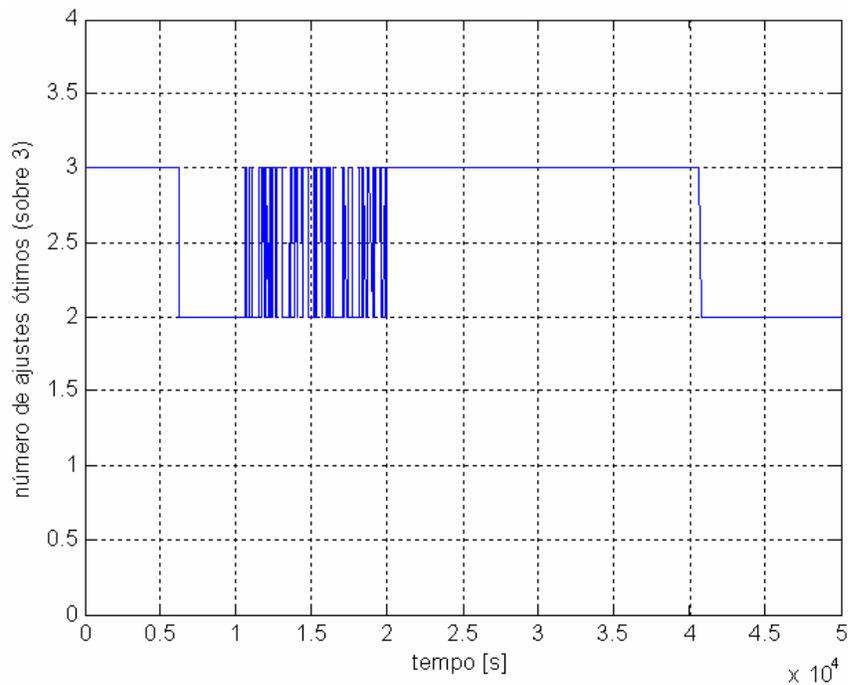
**Tabela 47 – Simulação 3 – Média dos 5 Estágios – N° 42**

N° 36	Simulação Tipo 3 - Média dos 5 Estágios					Controle Dinâmico	
A	B	C - (GPRS)	D - (SAT)	E - (SAT)	F	G	
0,8%	13,3%	58,3%	27,1%		0,0%	0,6%	
0,8%	13,3%	85,3%			0,0%	0,6%	

Percentagem média total em  
transmissão GPRS + Satélite

Na tabela 41 temos uma média da somatória da probabilidade de permanência do sistema em cada estado em todos os estágios. Podemos concluir que os valores de TIG, TOG e TOR fixados em seus valores ótimos foram efetivos, pois levou o sistema a permanecer mais de 85% em transmissão efetiva para todo período.

Realizando-se uma comparação entre os resultados encontrados na seção 5.3.1 e 5.3.2 temos o seguinte gráfico:



**Figura 14: Sintonia entre o controle ótimo e o controle obtido através de estimação**

O gráfico da figura 14 se refere à simulação em que as variáveis de controle são obtidas a partir da estimação dos parâmetros do sistema. Foram comparadas as variáveis de controle (TOR, TOG e TIR) obtidas na simulação com seu valor ótimo, isto é, aquele que seria utilizado caso os parâmetros do sistema fossem conhecidos com exatidão. A figura mostra o número (entre 0 e 3) de variáveis de controle (na simulação com estimação) que coincidem com os valores ótimos. Observa-se nesta figura, que para o cenário simulado existem pelo menos duas das variáveis apresentando valor ótimo, e em boa parte do tempo de simulação três (isto é, todas) das variáveis coincidem com o valor ótimo. Este fato mostra a robustez do controlador em relação aos parâmetros estimados. Em outras palavras, mesmo com informações limitadas a respeito do sistema é possível que o controlador exerça uma atuação muito próxima da condição ótima.

Outra confirmação deste fato é dada pela comparação das tabelas dos resultados das simulações na seção 5.3.1 e 5.3.2. As tabelas na seção 5.3.1 correspondem às simulações em que a ação de controle é obtida a partir da estimação dos parâmetros do sistema, ao passo que as tabelas na seção 5.3.2 são obtidas com as ações de controle fixadas em seus valores ótimos. Observa-se que as probabilidades estacionárias obtidas em ambos os casos são próximas, tanto quando se analisa

trecho a trecho, quanto no caso em que a análise é feita globalmente (última linha de cada tabela). Em resumo, as simulações apresentadas reforçam a hipótese de que o controle obtido a partir das estimações propostas é robusto em relação às imprecisões destas estimações, isto é, são compatíveis com a hipótese 3 apresentada no início deste capítulo.

## 6. Conclusões

Após todas as simulações realizadas pudemos concluir que a proposta inicial de criar uma máquina de estados e atuar nos eventos controláveis do sistema de modo que ele permaneça a maior do tempo possível em comunicação foi atingida com sucesso nas três diferentes condições de simulação. Na simulação do tipo 1 onde temos uma condição com uma distribuição exponencial e sem estimação, pode-se perceber que quando otimizamos as probabilidades estacionárias dos eventos controláveis, a probabilidade de permanência média nos estados de transmissão é otimizada. Isto é notado em diferentes simulações das condições de qualidade dos sinais de GPRS e Satélite. Na simulação do tipo 2 onde temos uma condição de distribuições empíricas com o objetivo de simular os sistemas reais, e utilizando a mesma estratégia de controle baseada em um modelo markoviano, a probabilidade de permanência média nos estados de transmissão também é otimizada. Na simulação do tipo 3 onde também temos uma condição de distribuições empíricas com o objetivo de simular os sistemas reais, utilizamos um controle robusto que foi alterado dinamicamente através da estimação dos valores médios das taxas dos eventos. Neste caso também pudemos mostrar que o sistema também permaneceu a maior parte do tempo nos estados efetivos de transmissão.

Como este projeto foi realizado com o objetivo de encontrar uma solução para atender uma necessidade real da empresa no mercado mundial, os próximos passos seriam implementar a solução desenvolvida em um produto real e realizar testes de campo para provar a eficácia dos nossos algoritmos em situações reais.

## Referências

- [1] Cassandras, Christos e Lafortune, Stéphane – "Introduction to Discrete Event Systems"- Kluwer Academic Publishers - 1999
- [2] Papoulis, A. – "Probability, Random Variables and Stochastic Processes"- McGraw-Hill- 1985
- [3] Banks, J., Carson II, J. S. e Nelson, B. L. - "Discrete Event System Simulation"- Prentice-Hall – 1996
- [4] Liu Nanjie & Li Guodong - “Leading Edge Wireless broadband: What will the future be?” – Huawei Technologies - Communicate Magazine – April 2009 – Issue 48
- [5] Fang Zhu and Janise Mcnair - “Multiservice Vertical Handoff Decision Algorithms” – Hindawi Publishing Corporation - EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking – Volume 2006, Article ID 25861 – Pages 1-13
- [6] Enrique Stevens-Navarro, Yuxia Lin and Vincent W.S. Wong - An MDF-based Vertical Handoff Decision Algorithm for Heterogeneous Wireless Networks – Vehicular Technology, IEEE Transactions on In Vehicular Technology, IEEE Transactions on, Vol. 57, No. 2. (2008), pp. 1243-1254. doi:10.1109/TVT.2007.907072 Key: citeulike:4226255
- [7] Nikos Passas, Sarantis Paskalis, Alexandros Kaloxylos, Faouzi Bader, Renato Narcisi, Evangelos Tsontsis, Adil S. Jahan and Hamid Aghvami - Enabling technologies for the ‘always best connected’ concept - WIRELESS COMMUNICATIONS AND MOBILE COMPUTING - Wirel. Commun. Mob. Comput. 2005; 5:175–191 – Published online 23 August 2004 in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/wcm.207

[8] Meriem Kassar, Brigitte Kervella, Guy Pujolle - An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks – Computer Communications Volume 31, Issue 10, 25 June 2008, Pages 2607-2620

[9] Patrick Nay, Chi Zhou – Vertical Handoff Decision for Intergrated UMTS and LEO Satellite Networks – Communications and Mobile Computing, 2009. CMC '09. WRI International Conference on Issue Date: 6-8 Jan. 2009 - On page(s): 180 – 184 - Location: Yunnan - Print ISBN: 978-0-7695-3501-2 - NSPEC Accession Number: 10501410  
Digital Object Identifier: 10.1109/CMC.2009.135 - Date of Current Version: 04 Março 2009

[10] W. Zhang, “Handover Decision Using Fuzzy MADM in Heterogeneous Networks,” in Proc. IEEE WCNC’04, Atlanta, GA, March 2004.

[11] Q. Song and A. Jamalipour, “A Network Selection Mechanism for Next Generation Networks,” in Proc. IEEE ICC’05, Seoul, Korea, May 2005.

[12] M. D. Yacoub, Foundations of Mobile Radio Engineering, CRC Press, 1993