

Predição de Séries Temporais de Parâmetros de Redes HSPA – WCDMA

Tiago dos Santos Bezerra

Orientador: Prof. Dr. Antonio Luiz Pereira de Siqueira Campos.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e de Computação da UFRN (área de concentração: Telecomunicações) como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Número de ordem PPgEEC: M429
Natal, RN, Junho de 2014

UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede.
Catalogação da Publicação na Fonte.

Bezerra, Tiago dos Santos.

Predição de séries temporais de parâmetros de redes HSPA – WCDMA. / Tiago dos Santos Bezerra. – Natal, RN, 2012.
74 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Luiz Pereira de Siqueira Campos.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação.

1. Séries Temporais - Dissertação. 2. Predição - Dissertação. 3. Alisamento exponencial simples - Dissertação. 4. Holt - Dissertação. 5. Holt-Winters - Dissertação. 6. WCDMA – Dissertação. I. Campos, Antonio Luiz Pereira de Siqueira. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

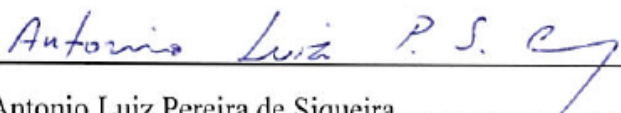
RN/UF/BCZM

CDU 004

Predição de Séries Temporais de Parâmetros de Redes HSPA – WCDMA

Tiago dos Santos Bezerra

Dissertação de Mestrado aprovada em 10 de Junho de 2014 pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:


Prof. Dr. Antonio Luiz Pereira de Siqueira.PPgEEC/UFRN


Prof. Dr. Allan de Medeiros Martins PPgEEC/UFRN


Prof. Dr. Vicente Angelo de Sousa JuniorDCO/UFRN


Prof. Dr. Jefferson Costa e Silva. IFPB

*Ao meu filho Felipe Gabriel, pela alegria
durante a realização deste trabalho.*

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde proporcionando minha participação e sucesso neste trabalho.

Aos meus pais, Ivanildo e Silvana, por tudo que sou hoje.

À minha esposa Valéria Cristina por ter me dado amor, carinho e força demonstrando muita paciência nos momentos mais difíceis.

Ao Prof. Antonio Luiz Pereira de Siqueira Campos por ter apostado e me orientado com muita paciência na construção deste trabalho.

Aos Professores Allan de Medeiros Martins e Vicente Angelo de Sousa Junior pelas co-orientações deste trabalho.

Ao amigo Helder Araújo de Souza que me deu muito apoio em minhas ausências.

Aos demais amigos pelo apoio e incentivo.

E por fim aos colegas do UFRN – PPgEEC que lutaram junto comigo durante toda jornada.

Resumo

Com o crescimento da demanda de tráfego de dados nas redes de terceira geração (3G), as operadoras de telefonia móvel têm atentado para o direcionamento dos recursos em infraestrutura nos locais onde se identifica maior necessidade. O direcionamento desses investimentos tem o objetivo de manter a qualidade do serviço prestada principalmente em regiões urbanas densas. Neste trabalho é realizada a predição de séries temporais em rede WCDMA - HSPA dos parâmetros *Rx Power*, *RSCP (Received Signal Code Power)*, *Ec/Io (Energy per chip/Interference)* e taxa de transmissão (*throughput*) na camada física. A coleta dos valores dos parâmetros foi realizada numa rede em pleno funcionamento através de um *drive test* na cidade de Natal – RN, uma capital do nordeste brasileiro. Os modelos utilizados para predições das séries temporais foram os de Alisamento Exponencial Simples, Holt, Holt-Winters Aditivo e Holt-Winters Multiplicativo. O objetivo das predições das séries temporais é verificar qual modelo irá gerar as melhores predições dos parâmetros da rede WCDMA - HSPA.

Palavras chave: Séries Temporais, Predição, Alisamento Exponencial Simples, Holt, Holt-Winters, WCDMA, HSPA.

Abstract

With the growing demand of data traffic in the networks of third generation (3G), the mobile operators have attempted to focus resources on infrastructure in places where it identifies a greater need. The channeling investments aim to maintain the quality of service especially in dense urban areas. WCDMA - HSPA parameters *Rx Power*, RSCP (Received Signal Code Power), Ec/Io (Energy per chip/Interference) and transmission rate (throughput) at the physical layer are analyzed. In this work the prediction of time series on HSPA network is performed. The collection of values of the parameters was performed on a fully operational network through a drive test in Natal - RN, a capital city of Brazil northeastern. The models used for prediction of time series were the Simple Exponential Smoothing, Holt, Holt Winters Additive and Holt Winters Multiplicative. The objective of the predictions of the series is to check which model will generate the best predictions of network parameters WCDMA - HSPA.

Keywords: Time Series, Prediction, Simple Exponential Smoothing, Holt, Holt-Winters, WCDMA, HSPA.

Sumário

Sumário	i
Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas	v
Lista de Símbolos e Abreviaturas	vi
1 – Introdução	1
2 – Rede WCDMA/HSPA	3
2.1 – Desempenho da rede WCDMA/HSPA	3
2.2 – Visão geral da rede WCDMA/HSPA	4
2.3 – Principais funcionalidades do HSDPA	7
2.3.1 – Codificação e modulação adaptativa	7
2.3.2 – Mecanismo híbrido de requisição e repetição automática	8
2.3.3 – Agendamento de pacotes	9
2.3.4 – Mudança de célula sem interrupção	9
2.4 – Parâmetros da rede WCDMA/HSPA	10
2.5 – Conclusão	12
3 – Séries e Predições Temporais	13
3.1 – Introdução	13
3.2 – Fenômenos determinísticos ou estocásticos	14
3.3 – Modelo de Alisamento Exponencial Simples	15
3.4 – Modelo de Alisamento Exponencial Holt	17
3.5 – Modelo de Alisamento Exponencial Holt-Winters	18
3.6 – Conclusão	22
4 – Análise, Modelagem e Predição das Séries Temporais	23
4.1 – Introdução	23
4.2 – Medições em campo	23
4.3 – Mapa do trajeto do <i>drive test</i>	24
4.4 – Avaliação dos modelos	25
4.5 – Análise, modelagem e predição	26

4.6 – Conclusão	52
5 – Conclusões e Perspectivas	53
Referências Bibliográficas	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Evolução das taxas de transmissão HSPA em <i>uplink</i> e <i>downlink</i> .	5
Figura 2.2 – Interface PS - HSPA.	6
Figura 2.3 – Entidades Funcionais – HSDPA.	7
Figura 4.1 – <i>Drive test</i> em Natal-RN.	24
Figura 4.2 – Histograma <i>Rx Power</i> .	28
Figura 4.3 – Autocorrelação <i>Rx Power</i> .	29
Figura 4.4 – Predição <i>Rx Power</i> - Modelo Holt.	30
Figura 4.5 – Histograma RSCP.	31
Figura 4.6 – Autocorrelação RSCP.	32
Figura 4.7 – Predição RSCP – Modelo Holt.	33
Figura 4.8 – Histograma <i>Ec/Io</i> .	34
Figura 4.9 – Autocorrelação <i>Ec/Io</i> .	35
Figura 4.10 – Predição <i>Ec/Io</i> – Modelo Holt.	36
Figura 4.11 – Histograma <i>Throughput</i> .	37
Figura 4.12 – Autocorrelação <i>Throughput</i> .	38
Figura 4.13 – Predição <i>Throughput</i> – Modelo Holt.	39
Figura 4.14: Histograma - <i>Ec/Io</i> novo <i>drive test</i> .	42
Figura 4.15: Autocorrelação - <i>Ec/Io</i> novo <i>drive test</i> .	43
Figura 4.16: Predição <i>Ec/Io</i> – Modelo Holt novo <i>drive test</i> .	44
Figura 4.17: Histograma - RSCP novo <i>drive test</i> .	45
Figura 4.18: Autocorrelação – RSCP novo <i>drive test</i> .	45
Figura 4.19: Predição RSCP – Modelo Holt novo <i>drive test</i> .	46
Figura 4.20: Predição RSCP – Modelo Holt-Winters Multiplicativo.	48

Figura 4.21: Predição Ec/Io – Modelo Holt-Winters Multiplicativo.	48
Figura 4.22: Predição RSCP – Modelo Holt-Winters Aditivo.	49
Figura 4.23: Predição Ec/Io – Modelo Holt-Winters Aditivo.	50
Figura 4.24: Predição RSCP – Modelo de Alisamento Simples.	51
Figura 4.25: Predição Ec/Io– Modelo de Alisamento Simples.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Legenda dos níveis de sinal do <i>drive test</i> .	24
Tabela 4.2 – Modelo Holt – <i>Rx Power</i> .	27
Tabela 4.3 – Estatística descritiva – <i>Rx Power</i> .	28
Tabela 4.4 – Modelo Holt – RSCP.	30
Tabela 4.5 – Estatística descritiva – RSCP.	31
Tabela 4.6 – Predição <i>Ec/Io</i> – Modelo Holt.	33
Tabela 4.7 – Estatística descritiva – Modelo Holt.	34
Tabela 4.8 – Modelo Holt – <i>Throughput</i> .	36
Tabela 4.9 – Estatística descritiva – <i>Throughput</i> .	37
Tabela 4.10: Modelo Holt – Comparação resultados.	40
Tabela 4.11: Modelo Holt – Médias das constantes α e β .	40
Tabela 4.12: Modelo Holt – novo <i>drive test</i> .	41
Tabela 4.13: Estatística descritiva – <i>Ec/Io</i> novo <i>drive test</i> .	42
Tabela 4.14: Estatística descritiva – RSCP novo <i>drive test</i> .	44
Tabela 4.15: Modelo Holt-Winters Multiplicativo.	47
Tabela 4.16: Modelo Holt-Winters Aditivo.	49
Tabela 4.17: Modelo de Alisamento Exponencial Simples.	50

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

P_k	Potência total de transmissão da célula
T_k	Ganho da transmissão incluindo o ganho da antena
N_0	Densidade espectral de potência para o ruído térmico
Z_T	Valores observados de uma série temporal
$\mu(T)$	Nível médio da série
ε_T	Ruído aleatório
α	Constante de alisamento de nível da série
$\hat{a}_1$	Estimativa de nível da série temporal
β	Constante de alisamento da tendência da série
$\hat{a}_2$	Taxa de tendência
ρ	Fator sazonal
γ	Constante do fator sazonal
σ_ε^2	Variância constante
HSPA	<i>High Speed Packet Access</i>
HSDPA	<i>High Speed Downlink Packet Access</i>
HSUPA	<i>High Speed Uplink Packet Access</i>
WCDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
RNC	<i>Radio Network Controller</i>
RRM	<i>Radio Resource Management</i>
O&M	Operação e Manutenção
3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
ITU	<i>International Telecommunications Union</i>
IMT-2000	<i>International Mobile Telecommunications-2000</i>
SGSN	<i>Serving GPRS Support Node</i>
GGSN	<i>Gateway GPRS Support Node</i>
RF	Rádio Frequência
UTRAN	<i>Universal Terrestrial Radio Access Network</i>

UE	<i>User Equipment</i>
USIM	<i>User Services Identity Module</i>
CN	<i>Core Network</i>
MGW	<i>Media Gateway</i>
MSS	<i>Media Server Signalling</i>
CS	<i>Circuit Switch</i>
PS	<i>Packet Switch</i>
FPS	<i>Fast Packet Scheduling</i>
AMC	<i>Adaptive Modulation and Coding</i>
HARQ	<i>Hybrid Automatic Repeat Request</i>
ARQ	<i>Automatic Repeat Request</i>
CQI	<i>Channel Quality Indicator</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
SAW	<i>Stop-and-Wait</i>
RSCP	<i>Received Signal Code Power</i>
Ec/Io	<i>Energy per chip/Interference</i>
CPICH	<i>Common Pilot Channel</i>
HS-SCCH	<i>High Speed Shared Control Channel</i>
HS-PDSCH	<i>High Speed Physical Downlink Shared Channel</i>
RLC	<i>Radio Link Control</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator</i>
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
1XRTT	<i>1xRadio Transmission Technology</i>
GSM	<i>Global System Mobile</i>
GPRS	<i>General packet radio service</i>
EDGE	<i>Enhanced Data rates for GSM Evolution</i>
EVDO	<i>Evolution Data Optimized</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>
MAD	<i>Mean Absolute Deviation</i>
MSD	<i>Mean Squared Deviation</i>
MAPE	<i>Mean Absolute Percentage Error</i>

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A preocupação em prever demandas, manter e melhorar o desempenho dos serviços prestados pela rede tem estimulado estudos de predições para alguns parâmetros nas redes WCDMA/HSPA. Áreas urbanas dos grandes centros brasileiros têm crescido de forma acelerada com construção de novas edificações, gerando obstruções da cobertura móvel celular nestes locais. A ocupação concentrada de pessoas em áreas populosas gera altos índices de congestionamentos de tráfego na rede celular, comprometendo a qualidade dos serviços prestados pelas operadoras de telefonia móvel.

Predições de parâmetros da rede móveis têm sido investigadas por vários autores [1] – [4], sendo que em nenhum destes trabalhos foi realizado com parâmetros da interface aérea em redes WCDMA/HSPA. A maioria dos trabalhos de predição neste tema utilizam simuladores ao invés de medições reais. Investigações teóricas com os mais variados tipos de modelos de predições para séries temporais podem ser encontradas na literatura [5] – [10]. A predição para séries temporais de parâmetros da rede WCDMA/HSPA pode ser utilizada pela operadora de telefonia celular como uma ferramenta com o objetivo de antecipar investimentos de infraestrutura em trechos das cidades que indicam degradação da rede. Isto é importante porque a operadora pode evitar uma possível percepção negativa do cliente em relação ao serviço prestado por ela em locais específicos das grandes cidades, daí a importância do estudo.

Neste trabalho, foi realizado *drive test*, em trechos predefinidos, para coleta de amostras de quatro parâmetros da rede WCDMA/HSPA e posterior tratamento utilizando modelos de série temporal para predições. Os modelos utilizados para as predições de séries temporais foram os de Alisamento Exponencial Simples, Holt, Holt Winters Aditivo e Multiplicativo.

A principal contribuição deste trabalho é identificar modelos apropriados para predição dos parâmetros da rede.

O Capítulo 2 apresenta uma descrição geral dos contadores de desempenho e da realização do *drive test*. Mostra uma visão geral da Rede WCDMA/HSPA e as principais funcionalidades do HSDPA. É descrito cada parâmetro coletado durante o *drive test*.

O Capítulo 3 apresenta uma introdução a séries temporais, fenômenos determinísticos e estocásticos. Mostra a teoria dos modelos de séries temporais de Alisamento Exponencial Simples, Holt, Holt Winters Aditivo e Multiplicativo.

No Capítulo 4, é apresentada a metodologia para realização da coleta de dados dos parâmetros durante *drive test*. São efetuadas as análises, modelagens, e previsões das séries temporais. As avaliações dos modelos das séries são realizadas de acordo com as medidas de acurácia, o qual mostra o desempenho.

Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões dos principais aspectos abordados neste trabalho e sugestões para continuidade da pesquisa.

CAPÍTULO 2

Rede WCDMA/HSPA

2.1 – Desempenho da rede WCDMA/HSPA

Existem alguns parâmetros para avaliar o desempenho de uma rede celular móvel (WCDMA/HSPA) que são os indicadores de desempenho chave (*Key Performance Indicator – KPI*). Os valores dos KPIs podem ser obtidos por meio das estações rádio base (NodeB) e dos controladores da rede de rádio (RNC - *Radio Network Controller*) ou pela realização de um *drive test*. *Drive test* são medidas coletadas por um ou vários terminais especializados que são capazes de coletar um número de parâmetros durante uma trajetória em campo.

Medidas como níveis de tráfego e números de usuários em *soft* e *softer handoff* (processo em que o usuário da rede móvel muda a célula servidora em que está conectado na rede WCDMA) nas células dos NodeB são conhecidas como contadores de rede. Dependendo de como a rede foi projetada, estes contadores são enviados para o equipamento que realiza a gerência de Operação e Manutenção (O&M). Por exemplo, o valor do nível de potência deve ser gravado no NodeB e enviado para a gerência da rede O&M com certa frequência. A frequência depende da configuração da rede, e os contadores são enviados na forma de valores estatísticos. Para tratamento dos contadores o fabricante da rede disponibiliza uma plataforma para acompanhar a coleta, o processamento e o envio das informações para a gerência de O&M [11]. As medidas que um elemento de rede gera devem estar contidas nas normas de padronização do 3GPP [12], [13].

Para utilizar algoritmos de gerenciamento de recursos de rádio (RRM - *Radio Resource Management*) existe a necessidade da alimentação com medições realizadas pelos terminais móveis quando se encontram em conexão ativa, por exemplo, a potência recebida do canal piloto, energia do canal piloto por *chip* sobre a densidade de potência total recebida das células servidoras e vizinhas, dentre outras medidas. As medições realizadas pelos terminais móveis são enviadas praticamente em tempo real para o RNC e esses algoritmos gerenciam vários recursos, tais como o processo de *handoff*, por exemplo. Algumas empresas que fornecem o serviço de telefonia móvel celular também utilizam os dados das medidas para otimização de suas redes, mas para isso as medidas precisam ser tratadas para gerarem relatórios de KPI [11].

Quando se observar através dos relatórios de KPIs ou por reclamações de usuários da rede que existe algum tipo de problema em determinada área, o *drive test* deve ser acionado para obter mais detalhes sobre o funcionamento da rede naquela região. Os terminais de *drive test* são equipados com um GPS (*Global Positioning System*) e identifica o local no qual cada medição foi realizada, facilitando o diagnóstico do suposto problema. Um *drive test* realizado com *scanner* de frequência é útil por ser capaz de coletar de forma confiável níveis de sinal radioelétrico para cada canal de uma banda de frequência na cobertura da rede. Algumas observações são que os contadores de rede captam principalmente o comportamento do *uplink* (HSUPA), os relatórios de KPI captam o comportamento do *downlink* (HSDPA) e o *drive test* também capta o estado do *downlink* para a trajetória específica do veículo de testes. Importante frisar que a rota do *drive test* seja otimizada, focando em regiões que se tenha uma grande quantidade de tráfego sendo assim um *drive test* que reflete bem a realidade da rede em horários de muito tráfego [11]. O desempenho da rede assume comportamentos imprevisíveis nos horários de alto tráfego, sendo melhor para diagnóstico de possíveis problemas por se basear nas ocorrências do pior caso.

2.2 – Visão geral da rede WCDMA/HSPA

O acesso de rádio WCDMA evoluiu fortemente no ponto de vista das taxas de transmissão em *downlink* (transmissão no sentido estação rádio base para o terminal móvel) utilizando o *High Downlink Packet Access* (HSDPA) e *uplink* (transmissão no sentido terminal móvel para a estação rádio base) com o *High Uplink Packet Access* (HSUPA), que juntos formam a tecnologia HSPA. Quando a União Internacional de Telecomunicações (*International Telecommunications Union* – ITU) definiu os objetivos para os sistemas 3G na *International Mobile Telecommunications - 2000* (IMT-2000), na década de 1990, a taxa de transmissão de bits especificada era de 2 Mbps. O *Release 99* da *3rd Generation Partnership Project* (3GPP), na rede WCDMA, suportava taxas de até 2 Mbps em suas especificações, mas na prática, a taxa de dados era limitada em 384 kbps. O HSPA é capaz de aumentar, na prática, essas taxas de dados para 2 Mbps devendo chegar a 14,4 Mbps no *Release 7*. Além de maior pico de taxa de dados, o HSPA também reduz a latência e aumenta a capacidade da rede. O HSPA permite um novo conjunto de aplicações baseadas em pacotes para trafegarem em rede sem fio de maneira mais eficiente que o 3G. Para as operadoras, a atualização da rede de WCDMA para HSPA é simples, pois a solução HSPA é baseada na rede de rádio

WCDMA reutilizando todos os elementos da rede. As operações comerciais iniciais com as redes HSPA foram lançadas no último trimestre de 2005 [14]. A Figura 2.1 mostra a evolução das taxas da tecnologia HSPA.

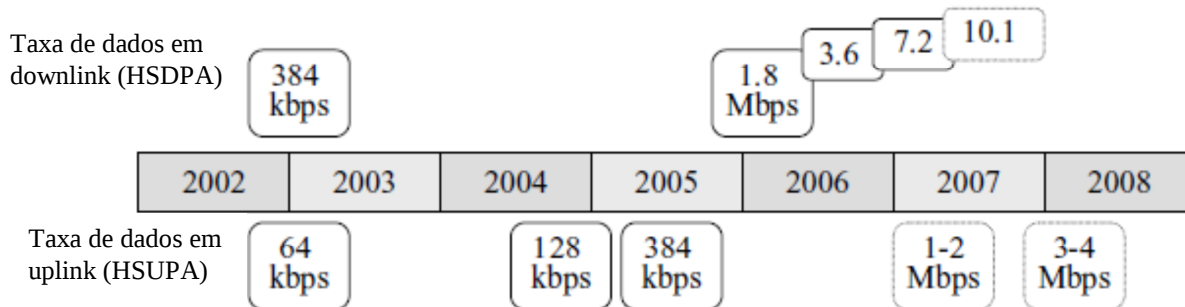


Figura 2.1: Evolução das taxas de transmissão HSPA em *uplink* e *downlink* [14]

Conforme informado anteriormente, HSPA e WCDMA podem compartilhar todos os elementos do *Radio Network* e *Core Network*, como as NodeB, RNC, *Serving GPRS Support Node* (SGSN) e *Gateway GPRS Support Node* (GGSN). WCDMA e HSPA também podem compartilhar os sites (área do terreno) da estação rádio base, antenas e meios para transmissão de radio frequência (RF). A atualização do WCDMA para HSPA requer novo pacote de *software* e pontualmente algumas novas peças de *hardware* na estação rádio base e na RNC para suportar as taxas de dados mais elevadas e maior capacidade. Devido à infraestrutura compartilhada entre WCDMA e HSPA, o custo de atualização do WCDMA para HSPA é reduzido quando comparado com a construção de uma nova rede de dados independente [14].

A *Radio Network* que o HSPA utiliza é a UTRAN (*Universal Terrestrial Radio Access Network*) pertencente à rede WCDMA, que é um conjunto de subsistemas de RF (Radio Frequência) composto por NodeB e RNC. A RNC é responsável pelo gerenciamento de recursos de RF, gerenciamento de mobilidade e localização do equipamento de usuário (*User Equipment* – UE). O UE deve possuir um módulo de identidade de serviços na rede WCDMA chamado de USIM (*User Services Identity Module*). O NodeB é o elemento da rede UMTS responsável pela interconexão da interface aérea com a infraestrutura da rede celular.

O CN (*Core Network*) é o núcleo da rede que suporta serviços baseados em comutação por circuitos e comutação por pacotes. É formado por MGW (*Media Gateway*) e MSS (*Media Server Signalling*). O CN se divide em duas partes, uma é chamada de CS (*Circuit Switch*),

que é responsável pelo gerenciamento de toda a rede, processamento de chamadas e gerenciamento dos registros de localização, e outra parte que é o PS (*Packet Switch*), que consiste nos elementos de rede SGSN e GGSN, é responsável por prover o transporte de dados por pacote (IP). A conexão entre os elementos SGSN e GGSN é do tipo comutado por pacotes e trafegam serviços de dados fornecidos para o usuário da rede. Um serviço que o PS prover, é o acesso à internet. A Figura 2.2 mostra as interfaces para provimento de tráfego de dados através da PS.

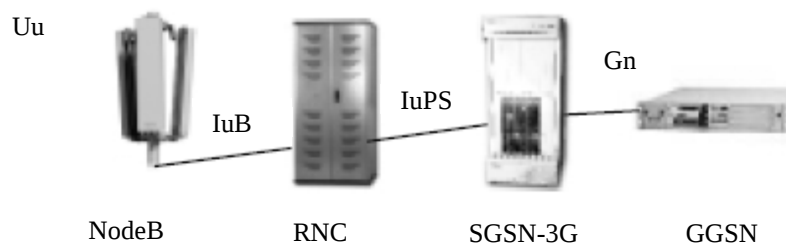


Figura 2.2: Interface PS - HSPA

Descrição das interfaces da Figura 2.2:

- Uu - Interface aérea localizada entre a UE e o NodeB.
- IuB - Interface para tráfego e sinalização entre NodeB e RNC.
- IuPS - Interface entre a UTRAN e as entidades do CN (SGSN-3G e GGSN) para conexão comutada por pacote.
- Gn – Interface entre as entidades do CN (SGSN – 3G e GGSN) para conexão comutada por pacote.

O HSPA é uma tecnologia que utiliza toda infraestrutura da rede WCDMA, um forte motivo para ser bastante utilizada em vários lugares do mundo. Para manter a qualidade da rede é importante um trabalho de otimização, operação e manutenção. Uma das formas de realizar tais atividades é utilizando as medições coletadas pelo NodeB e RNC transformando-as em relatórios de KPI ou se necessário uma coleta mais detalhada, com o uso do *drive test*.

Na próxima seção serão apresentadas as principais entidades funcionais da Rede HSDPA que garantem a qualidade do enlace de rádio, o agendamento de pacotes,

retransmissão de dados quando necessário e o processo de mudança de célula com transmissão de pacotes de dados em alto desempenho.

2.3 – Principais funcionalidades do HSDPA

A Figura 2.3 ilustra as principais entidades funcionais do HSDPA que incluem: codificação e modulação adaptativa, agendamento de pacotes, mecanismo híbrido de requisição e repetição automática e mudança de célula sem interrupção, são detalhadas nas subseções seguintes.



Figura 2.3: Entidades Funcionais - HSDPA

2.3.1 – Codificação e modulação adaptativa

A retransmissão de dados é um importante parâmetro devido à instabilidade dos canais de rádio. Assim, medições de rádio são realizadas para formar uma base confiável utilizada na operação de codificação e modulação adaptativa (AMC - *Adaptive Modulation and Coding*), portanto, são necessários mecanismos complementares. O principal objetivo do AMC é compensar a instabilidade do canal de rádio através de ajustes dos parâmetros de transmissão para adaptação do enlace de rádio. O AMC ajusta os parâmetros na camada física para compensar as variações nos canais de rádio. Isso é realizado utilizando as medições do canal de rádio coletadas pelo dispositivo móvel, no HSDPA em particular, utiliza-se o CQI

(*Channel Quality Indicator*). Diante destas e mais as informações de tráfego como QoS (*Quality of Service*), estado do rádio e recursos físicos, o AMC permite que a rede selecione a modulação e o método de codificação mais adequado [15].

2.3.2 – Mecanismo híbrido de requisição e repetição automática

O mecanismo híbrido de requisição e repetição automática (HARQ - *Hybrid Automatic Repeat Request*) permite que o elemento receptor detecte erros e quando for necessário, solicite retransmissões de pacotes de dados. Sendo um dos mecanismos básicos utilizados na transmissão de dados, a técnica de retransmissão garante menor perda de pacotes de dados na recepção. Quando comparado com o método convencional de requisição e repetição automática (*Automatic Repeat Request* – ARQ), o HARQ tem a capacidade de combinar as estimativas iniciais ou informações da transmissão original e as retransmissões correspondentes no processo de adaptação de enlace. Desta forma, ele ajuda a reduzir o número de retransmissões necessárias e também promove a adaptação de enlace com menos erros independentemente de variações do canal de rádio [15].

Algumas versões do HARQ usam informações adicionais na transmissão que incrementam caso a decodificação falhe em uma fase inicial do processo. Outras versões já tratam cada retransmissão de forma independente.

O *delay* para realização da retransmissão e o *overhead* de sinalização são os dois itens mais críticos para aplicações que utilizam rede celular. O HSDPA utiliza um procedimento de retransmissão simples chamado de “*Stop-and-Wait*” (SAW).

Quando o SAW é utilizado, o transmissor atua no pacote de dados até assegurar a boa recepção pelo dispositivo móvel. Usa um mecanismo de reconhecimento otimizado e uma mensagem para confirmar a transmissão bem sucedida de um pacote de dados. Evita a retransmissão.

Para evitar um aumento adicional no tempo de espera, o HARQ utiliza vários canais para monitorar o SAW e realiza o processo de retransmissão em paralelo evitando o desperdício de tempo e recurso [15].

2.3.3 – Agendamento de pacotes

O agendamento de pacotes realiza o controle do fluxo de dados RT (*real-time*) e NRT (*non-real-time*). Os dados RT exigem requisitos para não ocorrer atrasos durante o envio dos pacotes. Os dados NRT não exigem requisitos de atraso e se necessário os pacotes são reagendados para liberar recursos, prioriza o envio dos dados RT.

A operação eficiente do AMC e HARQ no HSDPA significa que o ciclo de *packet-scheduling* (agendamento de pacotes) é rápido para acompanhar variações rápidas do canal de rádio, como por exemplo, um desvanecimento no sinal do UE.

O *packet-scheduler* no Release 5 fica presente no NodeB ao invés da RNC como fora no Release 4, desta forma o atraso no agendamento de pacotes é minimizado e as medições de rádio refletem melhor a condição do canal rádio trazendo mais confiabilidade nas decisões de agendamento dos pacotes [15].

2.3.4 – Mudança de célula sem interrupção

Habilita o UE a se conectar na melhor célula disponível para servir seu *downlink* mantendo sem interrupção a conectividade no modo HS-PDSCH (canal físico). Isso também reduz a interferências indesejáveis principalmente em *soft handover* (mudança de células pelo UE entre duas NodeB diferentes). A mudança de célula é um dos processos de mobilidade que no modo HS-PDSCH mantém o UE associado a uma conexão de dados de alta velocidade. Para isso ocorrer é necessário que o canal de transporte HS-DSCH seja transferido de uma célula de origem para uma célula destino. O processo de mudar o canal HS-DSCH pode ser baseado em vários critérios, incluindo a configuração do canal físico HS-PDSCH, sincronização entre UE e UTRAN e a relocação na mesma NodeB ou em NodeB diferente. Na mudança de NodeB, a próxima NodeB servirá o novo HS-DSCH.

2.4 – Parâmetros da rede WCDMA/HSPA

Os parâmetros utilizados do *drive test* foram o *Rx Power* (nível de sinal na recepção do terminal móvel celular), *RSCP* (*Received Signal Code Power*), *Ec/Io* (*Energy per chip/Interference*) e a taxa de transmissão (*Throughput* - Kbps) na camada física (interface aérea).

O *Ec/Io* é uma relação sinal-interferência (*Ec* é a energia por *chip* sobre *I₀* que é a interferência em banda larga e co-canal incluindo a do próprio setor da célula correspondente) [16]. Uma métrica alternativa que pode ser usada para determinar as propriedades de uma célula é mostrada na Equação (2.1) [17]. Essa expressão calcula a relação sinal-interferência do canal piloto (CPICH) no enlace direto (*downlink*) e foi proposta na terceira geração de redes celulares da 3GPP.

$$\frac{Ec}{Io} = \frac{P_{pilot}}{P_{pilot} + No + \sum_{k=1}^{N_{cells}} P_k T_k} \quad (2.1)$$

em que *P_{pilot}* é a potência do canal piloto, *P_k* é a potência total de transmissão da célula *k*, *T_k* é o ganho da transmissão incluindo o ganho da antena, *No* é a densidade espectral de potência para o ruído térmico, *N_{cells}* é o número de células da rede.

A camada física da interface de rádio tem sido o tema principal de discussões quando diferentes sistemas celulares são comparados. Sua estrutura refere-se diretamente a desempenho ao observar um enlace entre estação terminal móvel e estação rádio base [18]. Na terceira geração dos sistemas celulares o foco passa a ser serviços de banda larga, a camada física não mais é utilizada por apenas um único serviço e uma maior flexibilidade é necessária para a introdução dos novos serviços.

A taxa de transmissão na camada física depende do número de códigos utilizados, perdas de percursos, ruído e a potência de transmissão. Significa que a taxa de transmissão pode ser variada. De acordo com a Expressão (2.2), a taxa de transmissão máxima na camada física é de 0,96 Mbps por código HS-PDSCH (*High Speed Physical Downlink Shared Channel*), sendo 4,8, 9,6 e 14,4 Mbps para 5, 10 e 15 códigos, respectivamente. Na prática, do total de 16 códigos HS-PDSCH, apenas 14 códigos HS-PDSCH são usados para dados, já que, geralmente, dois códigos HS-SCCH (*High Speed Shared Control Channel*) são reservados para sinalização e controle. Assim, a taxa de transferência máxima no nível físico é de 13,44 Mbps [19].

$$SF = \frac{\text{Chip rate}}{\text{Symbol rate}} \Leftrightarrow 16 = \frac{3.84}{\frac{\rho_p}{4}} = 0.96 \text{ Mbps} \quad (2.2)$$

Considerando uma taxa de codificação de 75%, a taxa de transmissão máxima na camada de controle do enlace de rádio (*Radio Link Control* – RLC) é de 3,6; 7,2 e 10,08 Mbps para 5, 10 e 15 códigos HS-PDSCH, respectivamente. A máxima taxa de transmissão permitida no nível de aplicação é de 3,36; 6,72 e 9,4 Mbps para 5, 10 e 15 códigos HS-PDSCH, respectivamente. Considerando 93,3% de 3,6; 7,2 e 10,08, devido à *overhead* nas camadas MAC (*Medium Access Control*) e RLC, estas taxas de transferências estão entre 3,6 e 8,46 Mbps, levando em conta a taxa de erro de bloco (*Block Error Ratio* – BLER) e aplicações com *overhead* de 10%.

Para um único usuário na rede UMTS/HSPA, apenas o número de códigos HS-PDSCH é o fator limitante para a taxa de transmissão máxima disponível para a aplicação [19]. A taxa de transmissão coletada pelo *drive test* realizado para este trabalho é na camada física (interface aérea) de uma rede HSPA.

RSCP (*Received Signal Code Power*) é o nível de potência do código recebido (dBm), refere-se à potência de um código específico entre os símbolos de um canal piloto (CPICH) recebido e a medição da potência recebida sobre o código. O RSCP é utilizado como parâmetro em conjunto com CPICH para várias funções como *handover* e a decisão de reseleção de novas células pelo terminal móvel celular na rede WCDMA – HSPA.

RSCP é a soma do RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) com *Ec/Io* em (dBm), ou seja:

$$\text{RSCP (dBm)} = \text{RSSI (dBm)} + \text{Ec/Io (dBm)} \quad (2.3)$$

O ponto de referência para o RSCP é o conector de antena do UE. Se a diversidade de antena (transmissão) é usada pelo UE, ou seja, se o UE utiliza mais de uma antena para receber o sinal, a potência de cada código recebido de cada antena serão separadamente medidos e somados para uma potência total de código recebido no CPICH.

Rx Power é o nível de sinal na recepção do terminal móvel celular recebido da estação rádio base (*NodeB*) expressa em dBm. Este parâmetro reflete bem a percepção do cliente no uso dos serviços da rede WCDMA/HSPA.

2.5 – Conclusão

Neste capítulo, foram mostradas as formas e importância de coleta de dados para os indicadores de performance (KPI) e *drive test*. Foi apresentada uma visão geral da rede WCDMA/HSPA e as principais funcionalidades do HSDPA (Codificação e modulação adaptativa, mecanismo híbrido de requisição e repetição automática, agendamento de pacotes e mudança de célula sem interrupção). Também foram apresentados os parâmetros da rede (*Rx Power*, RSCP, E_c/I_o) coletados no *drive test* e suas respectivas equações.

No capítulo 3, é apresentada uma visão geral de séries temporais. São mostrados os modelos de Alisamento Exponencial Simples, Holt, Holt-Winters Aditivo e Multiplicativo com suas respectivas equações gerais e de predição.

CAPÍTULO 3

Séries e Predições Temporais

3.1 – Introdução

Série Temporal é um conjunto de observações no tempo que devem apresentar dependências em instantes de tempo. As observações podem estar alocadas em espaços iguais ou não. Pode-se afirmar que uma série temporal é uma das realizações de um processo estocástico. Num processo estocástico subjacente, a série temporal é associada à única realização do processo com exceção de séries que são simuladas. Por exemplo, se Z_t indica as vendas de um produto de uma marca qualquer no mês t , a série temporal $\{Z_1, Z_2, \dots, Z_T\}$ que contém os valores observados das vendas é o único caminho disponível do processo estocástico que gerou aquela série [20].

Na caracterização de um processo estocástico se apenas uma realização do processo é o bastante para definí-la, pode-se chamar de processo ergódico. Com a existência de uma única realização do processo é necessário supor que o processo subjacente é ergódico [20].

Há basicamente duas atividades consideradas na análise de séries temporais:

- Análise e Modelagem da Série Temporal: detalhar a série, fazer diagnóstico das características mais importantes e verificar suas relações com outras séries;
- Previsão da Série Temporal: realizar previsões de valores futuros através dos valores passados das séries.

A modelagem de uma série temporal permite mapear toda a estrutura de dependência existente na série. Após modelagem pode se observar que no resíduo (diferença entre o valor real e o valor da previsão da série ajustada pelo modelo) não resta nenhuma estrutura de dependência serial, pois toda estrutura já foi coletada pela própria modelagem. Um modelo que é considerado bom, os resíduos não possuem correlação serial (isto é, correlação entre os resíduos em diferentes instantes de tempo). A modelagem pode explicar um comportamento da série com o menor número de parâmetros o que se pode chamar de parcimônia [20].

A previsão ou predição da série temporal utiliza o histórico dos dados passados para descrever a trajetória da série para o futuro. Os valores passados na maioria das vezes contêm informações relevantes sobre o que ocorrerá no futuro devido à existência da correlação entre as variáveis em diversos instantes de tempo. O conhecimento do passado não quer dizer que

será encontrado o valor exato do futuro, mas dá uma previsão de quais serão os valores futuros [20].

Predição é uma ferramenta que é utilizada nas empresas, indústrias, governo, em áreas como economia, ciências do ambiente, medicina, ciências sociais, políticas e financeiras. Previsões muitas vezes são classificadas como curto prazo, médio prazo e longo prazo. Em curto prazo envolve prever eventos apenas em alguns períodos (dias, semanas, meses) no futuro. Previsões de médio prazo se estendem de um a dois anos no futuro e previsões em longo prazo podem se estender por muitos anos. Previsões em curto e médio prazo são necessárias para atividades que vão desde a gestão de operação até orçamento e escolha de novos projetos de pesquisa para desenvolvimento. Previsões em longo prazo impactam em questões como planejamento estratégico [9].

A dependência serial entre os valores da série temporal é um aspecto essencial, pois permite gerar previsões de valores futuros. Estas previsões seriam puro “chute” se não houvesse a dependência. Também, diferentes séries possuem diferentes “graus” de previsibilidade, por exemplo, é mais fácil prever uma série de temperaturas médias mensais do que a taxa mensal de inflação. Outro aspecto que deve ser levado em consideração ao fazer previsões de séries temporais é que o nível de incerteza aumenta com o horizonte de previsão, quanto mais longe o futuro, maior é a incerteza associada à previsão [20].

As previsões são ferramentas geradoras de informações que juntamente com outras ações auxiliam na tomada de decisões visando determinados objetivos [6].

3.2 – Fenômenos determinísticos ou estocásticos

Fenômenos físicos que têm alguns parâmetros conhecidos podem ter seu comportamento definido em qualquer instante de tempo por um modelo determinístico. Por exemplo, calcular a trajetória de um míssil lançado sendo conhecidas a direção e a velocidade em qualquer instante. Entretanto, alguns fenômenos podem ocorrer, como a mudança da velocidade do vento ou direção do míssil, impossibilitando a determinação do comportamento futuro de sua trajetória. Entretanto, existe a possibilidade de se prever o comportamento futuro da trajetória utilizando um modelo estocástico que é controlado por leis probabilísticas [7].

Modelos probabilísticos ou estocásticos são construídos no domínio temporal ou de frequência. O número de parâmetros que será utilizado deve ser o menor possível (parcimônia) e não deve apresentar dificuldades na sua manipulação [6].

Se os valores futuros de uma série podem ser previstos a partir dos valores passados, esta série é determinística. No entanto, a maioria das séries são estocásticas ou aleatórias, ou seja, valores futuros apenas são parcialmente determinados a partir de seus valores passados [8].

3.3 - Modelo de Alisamento Exponencial Simples

Podem ser encontrados na literatura diversos métodos de alisamento exponencial. Entretanto, todos eles apresentam como característica comum a ponderação da informação atual a partir da informação contida em instantes anteriores. A existência de uma ou mais constantes de alisamento irá determinar como funciona esta ponderação, ou seja, o quão rapidamente decai a influência das observações passadas. Os parâmetros do modelo sofrem atualização sequencial e a chegada de uma nova observação resulta numa nova estimativa dos parâmetros [20].

Pela facilidade na implementação, juntamente com a capacidade na geração de boas previsões, os modelos de alisamento exponencial são bastante utilizados nas empresas, principalmente das áreas agrícola e financeira [20].

O modelo de Alisamento Exponencial Simples é mais adequado para séries temporais sem tendência linear e sem a presença de um padrão sazonal. O parâmetro de nível deve ser estimado e este modelo é recomendado para curtas previsões.

Seja $Z_t = (Z_1, Z_2, \dots, Z_T)$ uma série temporal de tamanho T , o Modelo de Alisamento Exponencial Simples é representado pela equação (3.1):

$$Z_T = \mu(T) + \varepsilon_T \quad (3.1)$$

em que $\mu(T)$ é o nível médio da série e ε_T é o ruído aleatório. A variável $\mu(t)$ refere-se à função no instante de tempo e ε_t tem média zero e variância constante σ_ε^2 .

A estimativa do nível da série $\mu(T)$ é dado por $\hat{a}_1$ na equação (3.2).

$$\hat{a}_1 = \alpha Z_T + (1 - \alpha)\hat{a}_{T-1} \quad (3.2)$$

em que α é constante de alisamento e tem valor $0 \leq \alpha \leq 1$ e $\hat{a}_{T-1}$ é estimativa de nível da série em $T - 1$.

Um ponto de dificuldade na implementação dos métodos de alisamento exponencial é a determinação das constantes de alisamento, mas que nos dias de hoje com o auxílio de ferramentas computacionais a dificuldade tem diminuído [20].

Para maior importância das observações recentes, maior deve ser o valor de α e quanto menor for o valor de α , maior será a importância das observações passadas. O valor de α também deve ser ajustado de acordo com a aleatoriedade da série que quanto maior, menor deverá ser o valor de α . No caso em que o valor de α for igual a 1, o modelo é chamado de “ingênuo”, pois o valor das observações mais recentes serão os valores das predições futuras.

O modelo constante (horizontal) no método de alisamento exponencial tem a ideia de ponderação da informação presente e passada e tem-se a equação (3.3) para o estimador do nível da série.

$$\hat{a}_1 = \left(\frac{1}{n}\right) Z_T + \left(1 - \frac{1}{n}\right) M_{T-1} = \left(\frac{1}{n}\right) Z_T + \left(1 - \frac{1}{n}\right) \hat{a}_1 (T - 1) \quad (3.3)$$

em que $\hat{a}_1 (T - 1)$: é a média de tamanho n calculada até $T - 1$ (anterior) e também da estimativa da prévia do nível da série, ou seja, a previsão atual do nível $\hat{a}_1 (T)$ pondera o valor mais recente da série (Z_T) e também pondera da última previsão para o nível ($\hat{a}_1 (T - 1)$); M_{T-1} é a média de tamanho n calculada até o instante anterior [20].

A definição do estimador que leva em consideração a ponderação das informações anteriores e atuais é mostrada na equação (3.4).

$$\hat{a}_1 (T) = M_T = \alpha Z_T + (1 - \alpha) M_{T-1} = \alpha Z_T + (1 - \alpha) \hat{a}_1 (T - 1) \quad (3.4)$$

a constante de alisamento é α tem valores entre 0 e 1, moderando a taxa de decaimento da série prevista.

Ajustando a equação (3.4) tem-se a equação (3.5):

$$\hat{a}_1 (T) = \alpha Z_T + (1 - \alpha) M_{T-1} = \hat{a}_1 (T - 1) + \alpha (Z_T - \hat{a}_1 (T - 1)) \quad (3.5)$$

A equação (3.5) é conhecida como “forma de correção do erro”. O mecanismo de atualização da previsão é construído com o nível estimado num instante T , que é igual ao nível estimado no instante anterior, somado com um múltiplo do erro de previsão um passo à frente ocorrido no instante anterior ($Z_T - \hat{a}_1 (T - 1)$) [20].

Realizando substituições na equação (3.4) tem-se:

$$M_T = \alpha Z_T + \alpha(1 - \alpha)Z_{T-1} + \alpha(1 - \alpha)^2 Z_{T-2} + \dots + \alpha(1 - \alpha)^{T-1} Z_1 \quad (3.6)$$

Cada estimativa do nível (dado por M_T) é uma soma ponderada da observação atual (Z_T) e das observações passadas. Os pesos decrescem exponencialmente, e a taxa de decrescimento dos pesos depende da constante α . A equação (3.6) mostra o funcionamento do método de alisamento exponencial [20].

Os modelos de alisamento exponencial, como a maioria dos métodos de previsão de séries temporais, se baseiam no princípio que os dados observados no passado contêm informações sobre como a esta série temporal se comportará no futuro [20]. Os valores extremos nos modelos de alisamento exponencial são gerados por ruídos aleatórios e o alisamento das curvas em relação aos valores extremos aponta o comportamento básico da série. A simplicidade, eficiência computacional e a precisão são as vantagens destes modelos [6].

3.4 – Modelo de Alisamento Exponencial Holt

O modelo Holt é mais adequado para séries temporais em que há uma tendência linear e não exista sazonalidade. Neste método, além do parâmetro de nível mostrado no modelo de alisamento exponencial simples, tem-se o acréscimo do parâmetro de tendência da série.

O modelo Holt é representado pelas equações (3.7), (3.8) e (3.9) [20]:

$$M_T = \alpha Z_T + (1 - \alpha) \cdot (M_{T-1} + \hat{a}_2 (T - 1)) \quad (3.7)$$

$$\hat{a}_2 (T) = \beta \cdot (M_T - M_{T-1}) + (1 - \beta) \cdot \hat{a}_2 (T - 1) \quad (3.8)$$

$$\hat{a}_1 (T) = M_T \quad (3.9)$$

- α e β são as constantes de alisamento de nível e tendência respectivamente cujos valores variam entre 0 e 1;
- M_T é a estimativa do nível da série;
- $\hat{a}_2$ é a taxa de tendência (crescimento) estimada;

Para o modelo Holt existem duas constantes de alisamento distintas, uma de nível e outra de tendência, sendo que para a atualização do nível são necessárias a amostra recente (Z_T), a estimativa da amostra anterior do nível (M_{T-1}) e a taxa de crescimento que foi

estimada na amostra do instante anterior. Para dispor da taxa de crescimento atualizada é necessário a diferença entre os níveis nos instantes $T - 1$ e T e a taxa de crescimento em instante anterior [20].

Para os modelos de alisamento simples e Holt é necessário obter os valores iniciais dos parâmetros para começar a predição da série, estes são estimados pelas equações (3.10) e (3.11) [21].

$$\hat{a}_1(1) = Z_1 \quad (3.10)$$

$$\hat{a}_2(1) = \frac{(Z_2 - Z_1) + (Z_4 - Z_3)}{2} \quad (3.11)$$

3.5 - Modelo de Alisamento Exponencial Holt-Winters

Existem séries temporais com comportamentos mais complexos, nesse sentido, o modelo Holt-Winters é apontado como alternativa de alisamento exponencial. Este modelo tem uma técnica que suporta séries mais gerais que o modelo Holt [6].

Os modelos Holt-Winters podem ser usados para séries temporais que apresentam tendência linear e componente de sazonalidade (padrões cíclicos em períodos quase que constantes) [22].

O Modelo de Alisamento Exponencial Holt-Winters baseia-se em três parâmetros de alisamento: nível e tendência já apresentados no modelo Holt mais o novo componente que se refere à sazonalidade [23]. É um modelo bastante utilizado nas empresas, por ter um custo computacional baixo na modelagem de séries com componentes sazonais gerando previsões de bom nível [20].

Para o modelo Holt-Winters são necessárias três estimativas:

- Estimar o nível da série;
- Estimar a taxa de crescimento da série;
- Estimar os fatores sazonais.

Um período sazonal PS pode ser denotado da seguinte forma: para dados mensais o período sazonal será igual a PS=12 e no caso de dados trimestrais o valor do período sazonal será PS=4.

Os modelos Holt-Winters são os Aditivos e Multiplicativos. Nos modelos Aditivos, quando o nível se modifica, o padrão sazonal não se modifica. Nos modelos Multiplicativos, o nível influencia na sazonalidade da série [20].

A equação geral (3.12) é utilizada para o Modelo Holt-Winters Aditivo e a equação geral (3.13) é utilizada para o Modelo Holt-Winters Multiplicativo.

$$Z_T = \mu(T) + \rho_T + \varepsilon_T \quad (3.12)$$

$$Z_T = \mu(T)\rho_T\varepsilon_T \text{ ou } Z_T = \mu(T)\rho_T \quad (3.13)$$

- $\mu(T)$: é o nível da série;
- ρ_T : fatores sazonais que correspondem ao “mês” *tempo*, em que *tempo* = 1, 2, 3... PS [20];
- ε_T : ruídos aleatórios.

O modelo linear sazonal multiplicativo é representado pela equação (3.14):

$$Z_T = (a_1 + a_2 \cdot T)\rho_T + \varepsilon_T \quad (3.14)$$

O modelo Holt-Winters efetua a atualização de parâmetro de forma sequencial. Existe a necessidade de realizar a estimativa do nível a_1 , a taxa de crescimento a_2 e os fatores sazonais ρ_T relativos a todos os meses “ T ”.

Para atualização do nível, taxa de crescimento e fator sazonal é necessário supor que conhecemos as estimativas do nível $\hat{a}_1(T-1)$, taxa de crescimento $\hat{a}_2(T-1)$ e os fatores sazonais $\rho_T(T-1)$ no instante $T-1$.

- Para atualização do nível:

$$\hat{a}_1(T) = \alpha \left[\frac{Z_t}{\rho_{m(T)}(T-1)} \right] + (1 - \alpha)[\hat{a}_1(T-1) + \hat{a}_2(T-1)] \quad (3.15)$$

O lado direito da equação (3.15) mostra a observação no instante T dessazonalizada. A metodologia de dessazonalização consiste em realizar uma análise preliminar na série através da construção de gráficos, buscando com isso identificar mudanças abruptas no tempo, tipo de decomposição e se há presença de *outliers* (valores atípicos dos demais valores da série).

- Atualização da tendência:

$$\hat{a}_2(T) = \beta[\hat{a}_1(T) - \hat{a}_1(T-1)] + (1 - \beta)\hat{a}_2(T-1) \quad (3.16)$$

O termo $\hat{a}_1(T) - \hat{a}_1(T-1)$ representa a diferença entre os níveis estimados nos instantes T e anterior $T-1$ apresentado na equação (3.16).

- Atualização dos fatores sazonais

$$\hat{\rho}_{m(T)}^* = \gamma \left[\frac{Z_T}{\hat{a}_1(T-1)} \right] + (1 - \gamma) \hat{\rho}_{m(T)}(T-1) \quad (3.17)$$

$$\hat{\rho}_j^*(T) = \rho(T-1); j = 1, 2, \dots, S; j \neq m(T) \quad (3.18)$$

Nas equações (3.15) e (3.17) são usadas duas constantes de alisamentos diferentes, uma para o nível α e outra para o fator sazonal γ .

O processo de atualização dos fatores sazonais deve ser realizado apenas no mês referente ao fator sazonal no qual se pretende realizar a estimação. Na equação (3.17), o fator sazonal fica com o valor congelado até a recepção da informação referente ao mês atual. Quando ocorre a recepção da informação, ou seja, quando o instante T corresponde ao mês $m(T)$, ocorre a execução da estimação do fator sazonal com o uso da equação (3.17). Na equação (3.17) observar-se que o fator sazonal é estimado e corresponde ao mês $m(T)$ atualizado no instante T . O fator sazonal é uma média ponderada realizada no ano anterior para o fator do mês atual e também da observação com a ausência do nível que é representada por $(\frac{Z_t}{\hat{a}_1(T-1)})$ [20].

- Padronização dos fatores sazonais:

$$\hat{\rho}_j(T) = \left[\frac{\hat{\rho}_j^*(T)}{\sum_{j=1}^S \hat{\rho}_j^*(T)} \right] \cdot PS \quad (3.19)$$

A padronização faz com que os fatores sazonais encontrados pela equação (3.17) tenham a soma igual ao PS (período sazonal).

Na substituição dos parâmetros desconhecidos $\hat{a}_1$, $\hat{a}_2$ e ρ por suas estimativas obtém-se a previsão em K passos no instante T :

$$\hat{Z}_{t+k}(T) = [\hat{a}_1(T) + k \cdot \hat{a}_2(T)] \hat{\rho}_{m(T+K)}(T) \quad (3.20)$$

Para fazer a estimação, os parâmetros do modelo necessitam estabelecer valores iniciais para as componentes [21].

Estimativas iniciais para o nível, taxa de crescimento e fatores sazonais: sejam $\bar{Z}_{(1)}, \bar{Z}_{(2)}, \dots, \bar{Z}_{(j)}$ as médias anuais, em que j é o ultimo ano disponível.

- Nível:

$$\hat{a}_1(0) = \bar{Z}_{(1)} - \frac{(S-1)}{2} \hat{a}_2(0) \quad (3.21)$$

- Taxa de crescimento:

$$\hat{a}_2(0) = \frac{\bar{Z}_{(j)} - \bar{Z}_{(1)}}{(j-1)S} \quad (3.22)$$

- Fatores sazonais:

$$C_T = \left\{ \frac{Z_t}{\bar{Z}_{(i)} - \left(\frac{S+1}{2} - m(T) \right) \cdot \hat{a}_2(0)} \right\} \quad (3.23)$$

em que $T = 1, 2, \dots, JS$ e i corresponde ao instate T .

O modelo linear sazonal aditivo é representado pela equação (3.24):

$$Z_T = a_1 + a_2 T + \rho_T + \varepsilon_T \quad (3.24)$$

Estimativas iniciais dos parâmetros nível, tendência e fatores sazonais são representados pelas equações (3.25), (3.16) e (3.26) com a equação (3.18).

- Nível:

$$\hat{a}_1 = \alpha [Z_T - \hat{\rho}_{m(T)}(T-1)] + (1-\alpha)[\hat{a}_1(T-1) \hat{a}_2(T-1)] \quad (3.25)$$

- Tendência: é idêntico à equação (3.16);
- Fatores sazonais:

$$\hat{\rho}_{m(T)}^* = \gamma [Z_t \hat{a}_1(T)] + (1-\gamma)\hat{\rho}_{m(T)}(T-1) \quad (3.26) \text{ com a equação (3.18).}$$

Na equação (3.26) o termo $[Z_t \hat{a}_1(T)]$ é uma medida de variação sazonal dos dados, oriunda da diferença entre a observação atual e a estimativa mais recente do nível. Na equação (3.18), observa-se que as estimativas de cada fator sazonal são atualizadas apenas uma vez por ano, quando observado o dado correspondente a tal mês [20].

Na substituição dos parâmetros desconhecidos $\hat{a}_1$, $\hat{a}_2$ e ρ por suas estimativas obtém-se a previsão K passos no instante T :

$$\hat{Z}_{T+1}(T) = [\hat{a}_1(T) + \hat{a}_2(T)] + \hat{\rho}_{m(T+1)}(T) \quad (3.27)$$

Os fatores sazonais aditivos tem a soma de todos os meses igual a zero. Já para os fatores sazonais multiplicativos, a soma de todos os meses é doze [20].

Para as melhores estimativas, os valores dos parâmetros de nível, tendência e sazonalidade devem ser os mais otimizados possíveis em comparação às observações já realizadas, isto é chamado de *backforecasting*, e também deve gerar diminuição dos valores das medidas de acurácia [24].

Um ponto negativo do modelo de alisamento exponencial Holt-Winters é a dificuldade em determinar os valores das constantes de nível, tendência e do fator sazonal. Um ponto positivo é que o modelo se adéqua a modelagem de séries com comportamentos dos mais variados possíveis [6].

3.6 – Conclusão

Neste Capítulo, foram apresentados os conceitos de séries temporais e predições, fenômenos determinísticos e estocásticos. Foram listados alguns modelos de séries temporais e suas respectivas formas de predição, assim como suas representações matemáticas. Foi mencionada a dificuldade na determinação dos valores das constantes nos modelos apresentados.

No Capítulo 4 é apresentada a medição dos parâmetros de rede em *drive test*, também serão realizadas as análises, modelagens e predições para os modelos de Alisamento Exponencial Simples, Alisamento Exponencial Holt, Alisamento Exponencial Holt-Winters Aditivo e Alisamento Exponencial Holt-Winters Multiplicativo.

CAPÍTULO 4

Análise, Modelagem e Predição das Séries Temporais

4.1 – Introdução

Neste capítulo, será apresentada a metodologia utilizada para realização das medições dos parâmetros apresentados no Capítulo 2. Foram medidos e obtidos os valores dos parâmetros: *Rx Power* (nível de sinal na recepção no terminal móvel celular), *RSCP* (*Received Signal Code Power*), *Ec/Io* (*Energy per chip/Interference*) e a taxa de transmissão (*Throughput* - Kbps) na camada física (interface aérea). São realizadas as análises, modelagens e predições para os modelos de Alisamento Exponencial Simples, Alisamento Exponencial Holt, Alisamento Exponencial Holt-Winters Aditivo e Alisamento Exponencial Holt-Winters Multiplicativo que foram mostrados no Capítulo 3. Os resultados são discutidos de acordo com os valores das medidas de acurácia.

4.2 – Medições em campo

As medições dos parâmetros foram realizadas através de um *drive test* numa rede WCDMA/HSPA em pleno funcionamento na cidade de Natal – RN, nos bairros de Lagoa Nova, Nossa Senhora de Nazaré, Quintas, Ribeiras e bairros adjacentes, como mostra a figura 4.1. Os equipamentos utilizados no *drive test* foram um aparelho celular do fabricante LG modelo Optimus ME P350 para chamadas de voz, um aparelho celular e modem Motorola RAZR HD XT925 para trafegar dados em HSPA e um Scanner DRT4301A GSM/WCDMA/HSPA (806/2500 MHz) modelo MPLVDB800/1900S para coleta de dados de parâmetros oriundos da rede. Também foi utilizado o *software* computacional comercial X-CAL versão D3.3.1.50, da Empresa Accuver e um servidor FTP (*File Transfer Protocol*) para execução de downloads de arquivos. O *software* X-CAL é uma solução baseada em tempo real para medição de desempenho e otimização de redes sem fio. O *software* coleta mensagens das camadas 1, 2 e 3 do modelo de OSI. As coletas são efetuadas na interface aérea das tecnologias 2G e 3G.

A coleta dos valores dos parâmetros foi realizada com auxílio de um veículo automotivo em deslocamento, com a velocidade média em torno de 21,13 km/h no dia 17/09/2013 entre os horários de 09h 40min 47seg e 13h 16min 58seg num de total 3h 36min

11seg de percurso. A cada segundo foi realizado uma amostra de medição dos parâmetros com um total de 12.971 amostras coletadas. A Figura 4.1 mostra o trajeto percorrido pelo *drive test*.

4.3 – Mapa do trajeto do *drive test*

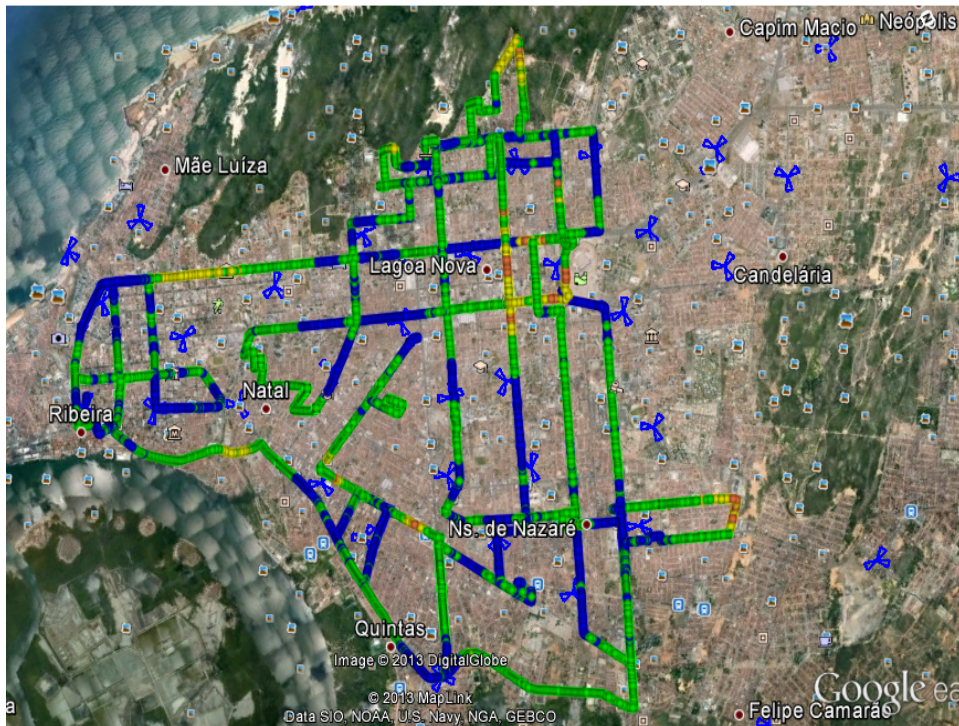


Figura 4.1 – *Drive test* em Natal-RN.

A Tabela 4.1 exibe a legenda dos níveis de sinal (*Rx Power*) do *drive test* mostrado na Figura 4.1.

Tabela 4.1 – Legenda dos níveis de sinal do *drive test*

Legenda	<i>Rx Power</i> (dBm)
	$-200 \leq Rx\ Power\ (dBm) < -100$
	$-100 \leq Rx\ Power\ (dBm) < -90$
	$-90 \leq Rx\ Power\ (dBm) < -80$
	$-80 \leq Rx\ Power\ (dBm) < -60$
	$-60 \leq Rx\ Power\ (dBm) < 100$

De acordo com a Figura 4.1 foi observado que na maioria do trajeto durante o *drive test* o sinal é de bom nível em torno de - 60 dBm (pontos de cor azul) demonstrando boa cobertura nos locais. Pode-se observar também que alguns pontos precisam de atenção e o sinal fica entre - 80 dBm e - 90 dBm (pontos de cor amarela). Outros poucos pontos já devem está ocorrendo quedas de chamadas por falta de sinal entre - 90 dBm e - 100 dBm (pontos de cor laranja). Geralmente, áreas que têm sinal degradado são locais com declives acentuados no relevo, obstruções do sinal das estações rádio base por edificações ou regiões distantes. Áreas com bons níveis de sinal e com qualidade do serviço degradada podem ser caracterizada por interferências no sinal da estação rádio base.

4.4 – Avaliação dos modelos

Na avaliação dos modelos das séries temporais foram utilizadas as medidas de acurácia que são medidas que avaliam a eficiência. Durante o processo de construção, estas medidas também são utilizadas para diminuir os erros e para escolha do melhor modelo dentre os que estão sendo avaliados [25].

No controle dos erros dos modelos é importante a utilização de uma função de perda [6]. Com o passar do tempo, o uso dos métodos absolutos, o MAD (*Mean Absolute Deviation*), equação (4.1), e o MSD (*Mean Squared Deviation*), equação (4.2), se tornaram mais conhecidos pela importância teórica na modelagem estatística [26].

O MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) é uma medida relativa que é boa para interpretação e adequada para o planejamento, sendo representada pela equação (4.3) [27].

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n (Z_t - \hat{Z}_t)}{n} \quad (4.1)$$

$$MSD = \frac{\sum_{t=1}^n (Z_t - \hat{Z}_t)^2}{n} \quad (4.2)$$

$$MAPE = \frac{\sum \left(\frac{Z_t - \hat{Z}_t}{Z_t} \right)}{n} \cdot 100, (Z_t \neq 0) \quad (4.3)$$

em que Z_t é o valor atual da série temporal, $\hat{Z}_t$ valor atual previsto da série e n é o número de observações.

Alguns trabalhos [25] recomendam a escolha das medidas MAD, MSD e MAPE em métodos de previsão.

Foram calculadas as três medidas de acurácia (MAPE, MAD e MSD) para cada uma das modelagens e previsões dos modelos de Alisamento Exponencial Holt, Alisamento Exponencial Simples, Holt-Winters Aditivo e Multiplicativo. Para as três medidas, quanto menor o valor, melhor o ajuste do modelo. Essas medidas foram utilizadas para comparar os ajustes dos modelos das diferentes amostras.

4.5 – Análise, modelagem e predição

Inicialmente, foram separadas 2880 amostras de cada parâmetro e segmentadas em onze séries para análise, modelagem e predição utilizando o modelo de Alisamento Exponencial Holt.

A maior parte das análises, modelagens e previsões deste trabalho foram realizadas no *software* estatístico Minitab ® 16.2.2.0.

Na Tabela 4.2 constam os dados da modelagem com o modelo de Alisamento Exponencial Holt do parâmetro *Rx Power*.

Os valores de α (constante de alisamento de nível) e β (constante de alisamento de tendência) são estimados durante o ajuste dos modelos pelo próprio *software* Minitab Inc.

As séries que apresentarem os menores valores das medidas de acurácia (MAPE, MAD e MSD) serão descritas estatisticamente e preditas pelo Modelo Holt. Neste trabalho, caso haja o empate na escolha da melhor série, por exemplo, três séries distintas com apenas uma medida de acurácia de cada tendo o menor valor, quando comparada com a mesma medida nas demais séries, a que tiver o MAPE será escolhida para ser realizada a predição.

Tabela 4.2: Modelo Holt – *Rx Power*

<i>Rx Power</i> (dBm)						
Índice	Amostras	α	β	MAPE (%)	MAD	MSD
1	250	1,1268	0,0045	3,4912	2,3792	11,1031
2	230	1,1006	0,0200	4,6204	2,7867	15,943
3	300	1,0849	0,0095	4,5799	2,9288	15,7957
4	250	1,0947	0,0085	3,8204	2,6004	15,1365
5	250	1,0750	0,0135	6,4174	3,6918	24,1871
6	250	1,1476	0,0068	4,9942	3,3087	18,9706
7	250	1,1157	0,1559	5,0588	3,5542	20,2150
8	290	1,0642	0,0123	5,2828	3,2162	17,6230
9	270	1,1709	0,0103	6,1035	3,3558	20,8544
10	250	1,1859	0,0106	6,2310	3,8643	22,8321
11	280	1,1554	0,0111	6,6479	3,7456	24,6944

A série temporal de índice de número um considerando as amostras de *Rx Power* foi a escolhida para descrição estatística e predição devido as medidas de acurácia MAPE, MAD e MSD terem os menores valores quando comparados com as mesmas medidas de acurácia das outras amostras, conforme apresentado na mesma Tabela 4.2.

A série temporal das amostras *Rx Power* se caracteriza pela estatística descritiva exibida na Tabela 4.3. Para essa série, pode-se observar que a potência média do sinal recebido foi de – 70 dBm, o que mostra que essa região de cobertura está satisfatória, uma vez que o limiar de potência dos celulares é em torno de – 100 dBm. A variância foi de 16,77, o que confirma a natureza variável do ambiente de propagação. Os níveis mínimo e máximo da potência recebida foram – 77,17 dBm e – 55,17 dBm, mostrando a boa cobertura da rota considerada.

Tabela 4.3: Estatística descritiva – *Rx Power*

Variável	Média	D. Padrão	Variância	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
<i>Rx Power</i>	-70,19	4,09	16,77	-77,17	-55,17	1,4	1,99

O histograma e o gráfico de autocorrelação da série *Rx Power* são apresentados nas figuras 4.2 e 4.3.

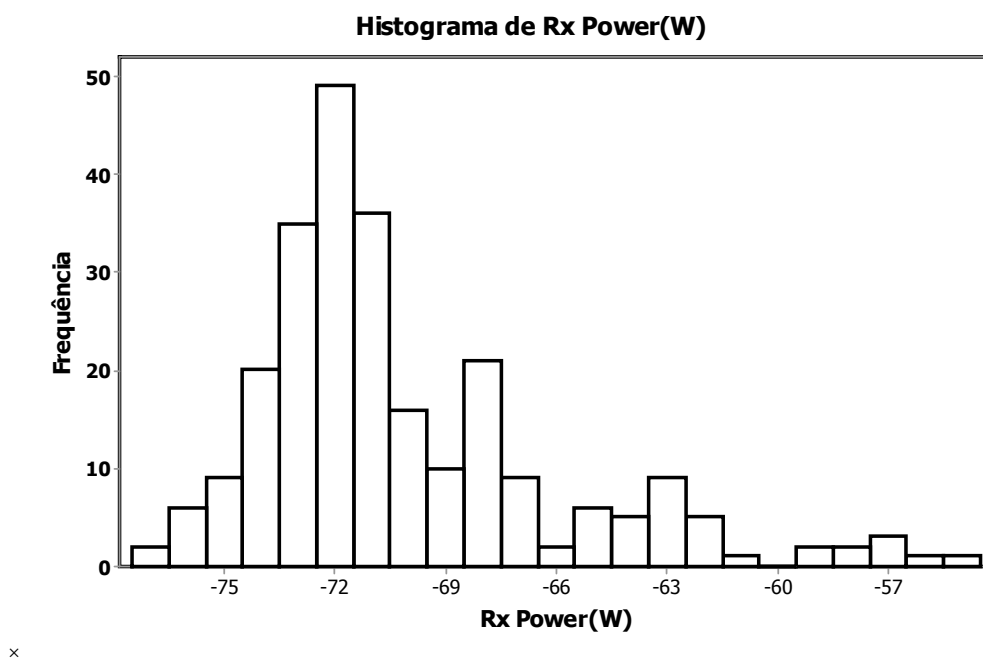


Figura 4.2: Histograma *Rx Power*

O histograma da figura 4.2 mostra que a maior frequência de valores tem o nível de potência de sinal em torno de -72 dBm confirmando uma boa cobertura na rota das amostras coletadas.

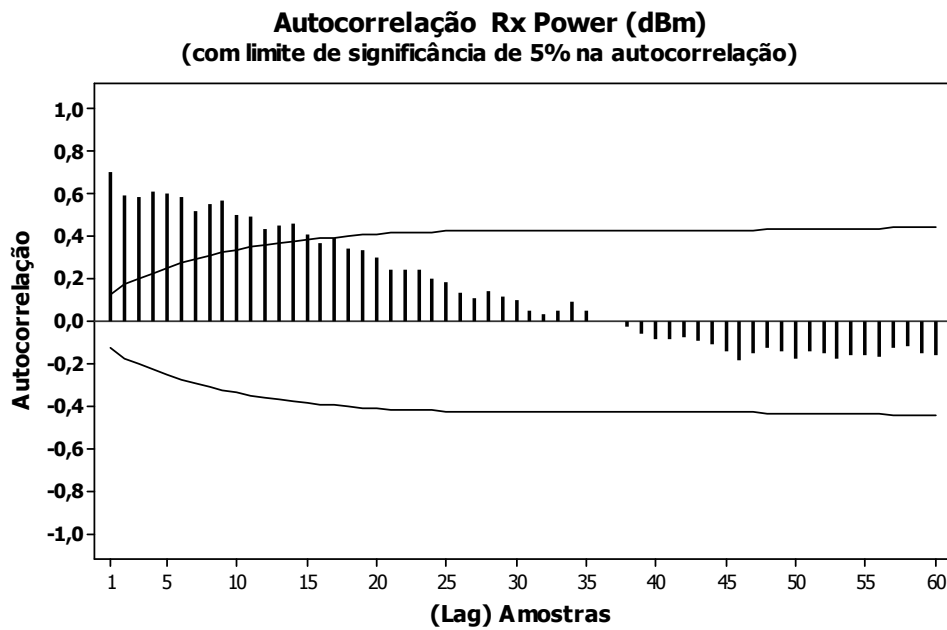


Figura 4.3: Autocorrelação Rx Power

De acordo com [20], se a autocorrelação exibe valores significativos mesmo com a defasagem dos lags (índices), pode-se afirmar que a série não apresenta comportamento estacionário. A série *Rx Power* não é estacionária por ter várias amostras dos *lags* iniciais na autocorrelação acima do limite significância de 5% conforme mostra a Figura 4.3.

A predição futura de 25 amostras da série temporal *Rx Power* é apresentada na Figura 4.4.

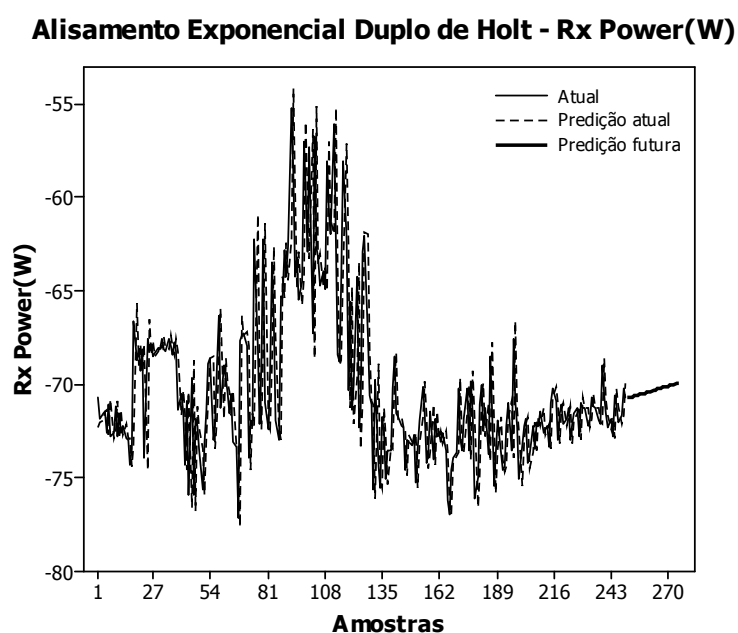


Figura 4.4: Predição Rx Power - Modelo Holt

Os dados da análise e modelagem da série temporal do parâmetro RSCP (dBm) são apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Modelo Holt – RSCP

RSCP (dBm)						
Índice	Amostras	α	β	MAPE	MAD	MSD
1	250	1,9819	0,0125	2,4627	1,8541	6,1842
2	250	1,1172	0,0163	3,5826	2,3745	10,2858
3	300	1,1329	0,0088	3,1736	2,3194	9,5222
4	270	1,2398	0,0066	3,0201	2,2703	10,6503
5	300	1,1845	0,0092	2,8443	2,9879	15,7612
6	250	1,1487	0,0098	2,7088	2,3214	9,7116
7	280	1,1008	0,0122	3,6656	2,6617	12,1464
8	250	1,2085	0,0056	5,1168	3,3376	18,2620
9	280	1,1493	0,0133	3,7110	2,5225	8,7718
10	230	1,1513	0,0132	4,4077	3,1308	16,6547
11	219	1,2593	0,0003	4,6406	2,8463	13,7329

A série temporal de índice número um das amostras RSCP foi a escolhida para descrição estatística e predição devido as medidas de acurácia MAPE, MAD e MSD terem os menores valores comparados com as medidas de acurácia das outras amostras conforme apresentado Tabela 4.4.

A série temporal das amostras RSCP de número um da Tabela 4.4 se caracteriza pela estatística descritiva tabela 4.5. Para esta série, pode-se observar que a potência média de código recebida foi de $-77,39$ dBm. A variância foi de 25,42, o que confirma a natureza variável do ambiente de propagação. Os níveis mínimo e máximo da potência recebida foram $-84,47$ dBm e $-60,84$ dBm, mostrando a boa cobertura de sinal durante rota considerada.

Tabela 4.5: Estatística descritiva – RSCP

Variável	Média	D. Padrão	Variância	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
RSCP	-77,39	5,04	25,42	-84,47	-60,84	1,17	1,10

O histograma e o gráfico de autocorrelação da série RSCP são apresentados nas figuras 4.5 e 4.6.

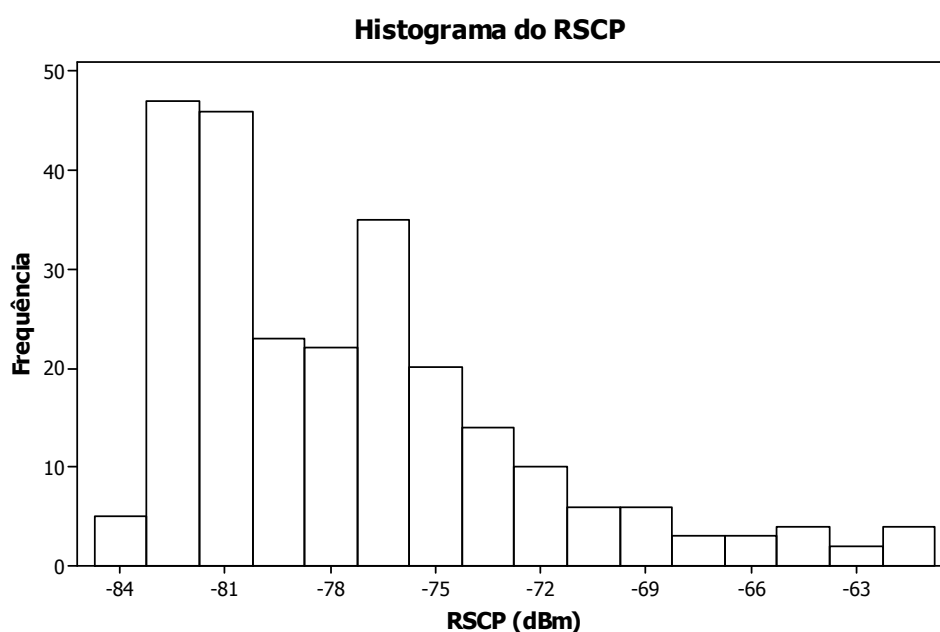


Figura 4.5: Histograma RSCP

O histograma da figura 4.5 mostra que a maior frequência de valores da potência média de código recebida entre -84 dBm e - 81 dBm confirmando a boa cobertura na rota das amostras coletadas.

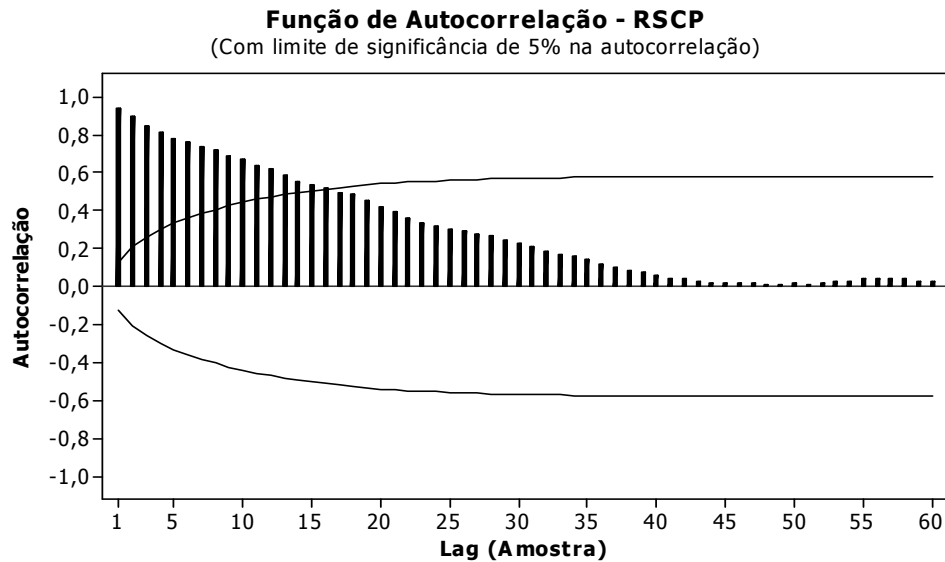


Figura 4.6: Autocorrelação RSCP

A série RSCP não é estacionária por ter várias amostras dos *lags* iniciais na autocorrelação acima do limite significância de 5% conforme mostra a Figura 4.6.

A predição futura de 25 amostras da série temporal RSCP é apresentada na Figura 4.7.

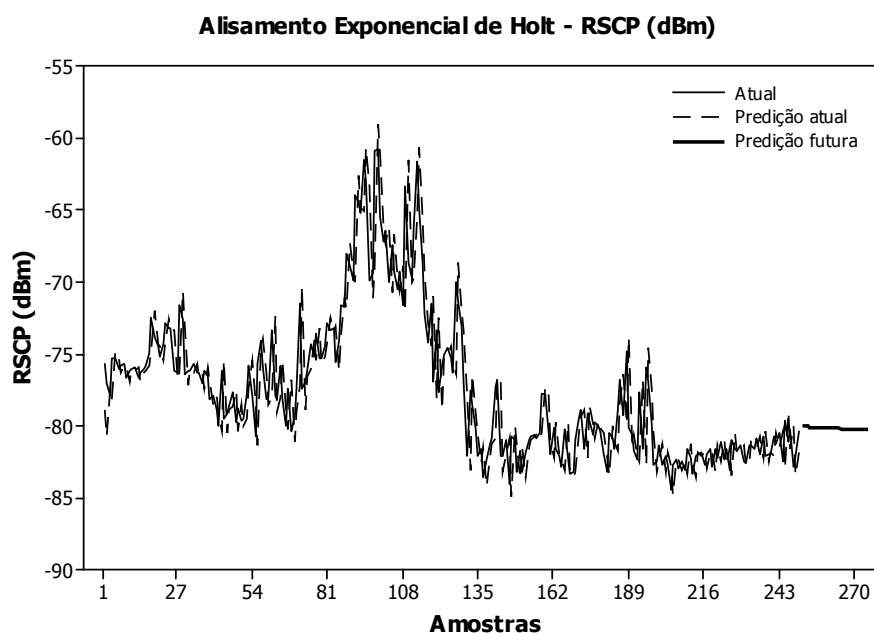


Figura 4.7: Predição RSCP – Modelo Holt

Os dados da análise e modelagem da série temporal do parâmetro E_c/I_o estão na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Predição E_c/I_o – Modelo Holt

Ec/Io						
Índice	Amostras	α	β	MAPE (%)	MAD	MSD
1	245	1,1230	0,0053	17,6805	1,0775	2,2854
2	290	1,0966	0,0114	32,5205	1,4583	3,8248
3	220	1,1235	0,0091	26,2244	1,5698	4,6733
4	250	1,2281	0,0096	17,994	1,0328	2,2163
5	270	1,0968	0,0129	32,1677	1,4699	4,2776
6	300	1,1803	0,0074	27,4336	1,4220	4,2751
7	250	1,1538	0,0087	34,5699	1,4503	4,8225
8	250	1,1414	0,0144	26,4966	1,5040	4,8268
9	300	1,2177	0,0059	18,3014	1,0560	2,1173
10	250	1,1773	0,0037	28,3986	1,5874	4,7857
11	254	1,0832	0,0108	20,4163	1,1153	3,0124

A série temporal de índice número um das amostras Ec/Io tem o menor valor do MAPE, a amostra de número quatro tem menor valor de MAD e a amostra de número nove tem o menor valor de MSD. A série de número um foi escolhida para descrição estatística e predição devido a medida de acurácia MAPE ter o menor valor quando comparado com a mesma medida das demais amostras da tabela 4.7.

A série temporal das amostras Ec/Io de número um da Tabela 4.6 se caracteriza pela estatística descritiva exibida na Tabela 4.7. Para essa série, pode-se observar que a relação sinal-interferência média foi de $-7,314$ dB, o que mostra que essa região de cobertura do *drive test* tem sinal com qualidade, uma vez que um bom intervalo de valores para a relação sinal-interferência é $-14 \text{ dB} < \text{Ec/Io} < -8 \text{ dB}$. A variância, nesse caso, foi mais baixa sendo de 4,738. Os níveis mínimo e máximo do Ec/Io foram $-11,02$ dB e $-2,64$ dB, respectivamente.

Tabela 4.7: Estatística descritiva – Modelo Holt

Variável	Média	D. Padrão	Variância	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
Ec/Io	-7,314	2,177	4,738	-11,020	-2,640	0,40	-0,97

O histograma e o gráfico de autocorrelação da série Ec/Io são apresentados nas figuras 4.8 e 4.9.

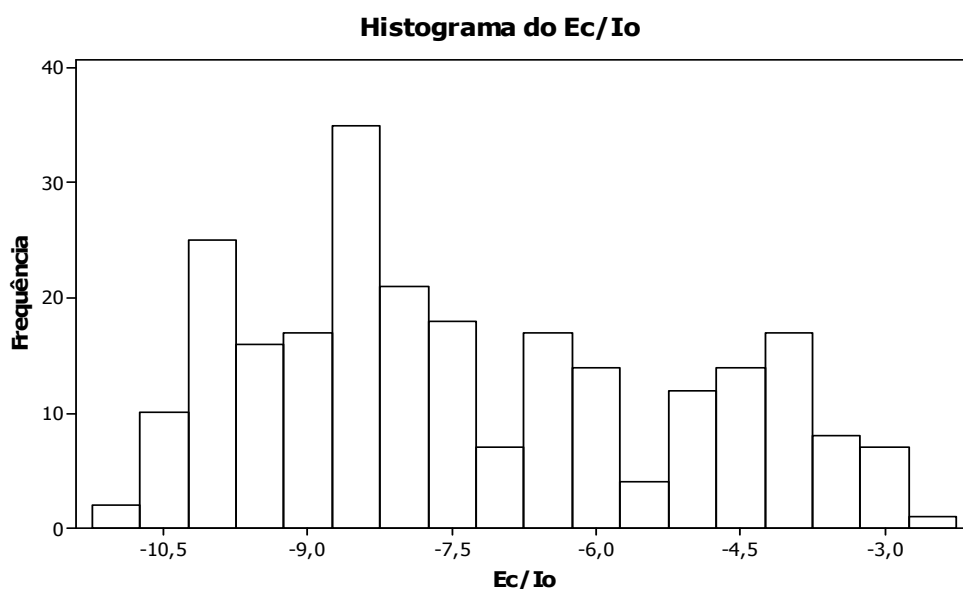


Figura 4.8: Histograma Ec/Io

O histograma da figura 4.8 mostra que a maior frequência de valores para a relação sinal-interferência está em torno de -8,5 dB confirmando a região de cobertura com boa qualidade do sinal na rota das amostras coletadas.

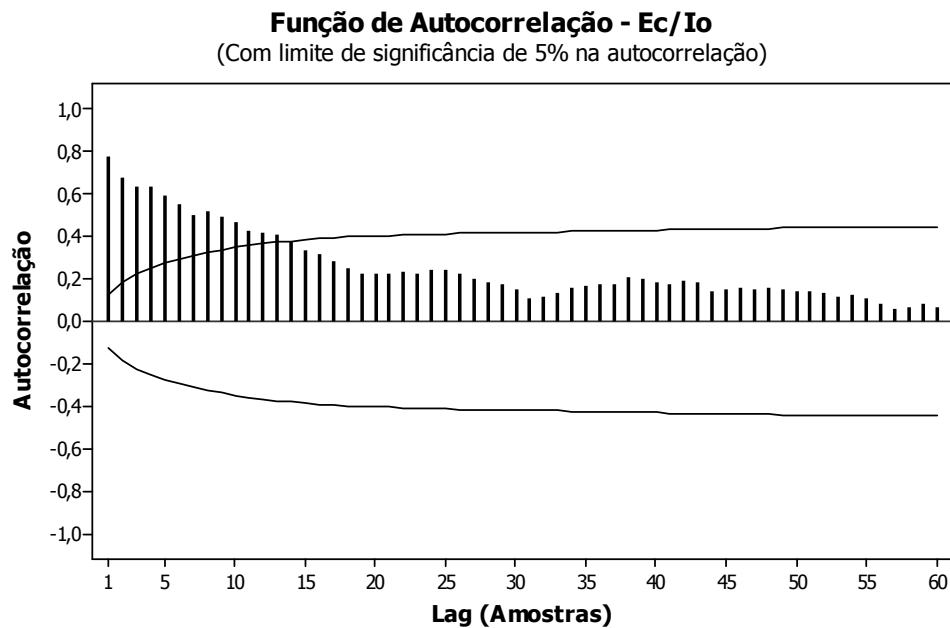


Figura 4.9: Autocorrelação E_c/I_o

A série E_c/I_o não é estacionária por ter várias amostras dos *lags* iniciais na autocorrelação acima do limite significância de 5% conforme mostra a Figura 4.9.

A predição futura de 25 amostras da série temporal E_c/I_o (dB) é apresentada na Figura 4.10.

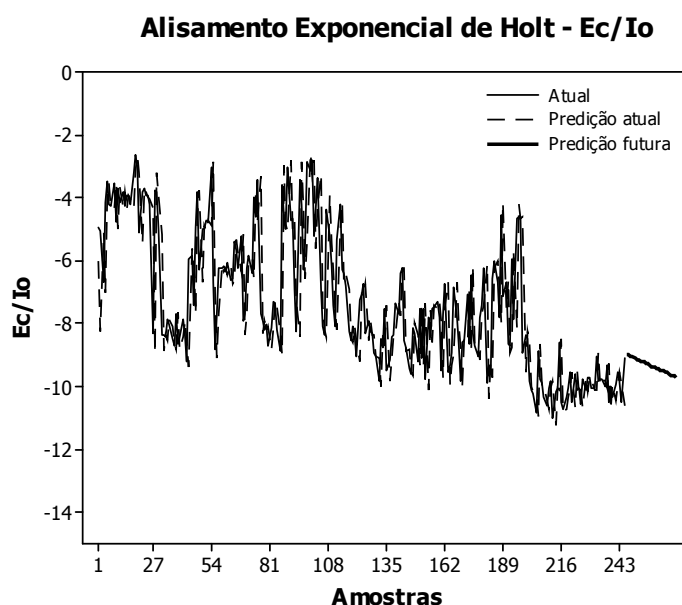


Figura 4.10: Predição Ec/Io – Modelo Holt

Os dados da análise e modelagem da série temporal do parâmetro *Throughput* podem ser vistos na Tabela 4.8.

Tabela 4.8: Modelo Holt – *Throughput*

<i>Throughput</i> (Kbps)						
Índice	Amostras	α	β	MAPE (%)	MAD	MSD
1	230	1,120	0,008	53	820	1278468
2	250	0,976	0,017	152	782	1697467
3	240	1,041	0,007	163	1049	2545927
4	250	1,242	0,010	88	370	467686
5	300	1,190	0,003	65	941	1890325
6	260	1,080	0,001	322	916	1811863
7	300	1,151	0,006	1067	1081	2987919
8	240	1,1972	0,010	853	987	2036691
9	200	1,1327	0,012	290	1089	2053908
10	300	1,1763	0,006	153	696	975151
11	299	1,0169	0,014	934	1218	3126556

A série temporal de índice de número um das amostras *Throughput* tem o menor valor do MAPE, mas a amostra de número quatro tem os menores valores de MAD e MSD. A amostra quatro foi a escolhida para descrição estatística e predição por ter apresentado duas medidas de acurácia de menor valor conforme apresentado na Tabela 4.8.

A série temporal das amostras *Throughput* de número quatro da Tabela 4.8 se caracteriza pela estatística descritiva na Tabela 4.9. Para essa série, pode-se observar que a taxa de transmissão média foi de 1001,1 Kbps. A variância, nesse caso, foi alta. A taxa de transmissão máxima foi de 6190,6 Kbps.

Tabela 4.9: Estatística descritiva – *Throughput*

Variável	Média	D. Padrão	Variância	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
Throughput	1001,1	1473,1	2169914,1	0,0	6190,6	1,62	1,94

O histograma e o gráfico de autocorrelação da série *Throughput* são apresentados nas figuras 4.11 e 4.12.

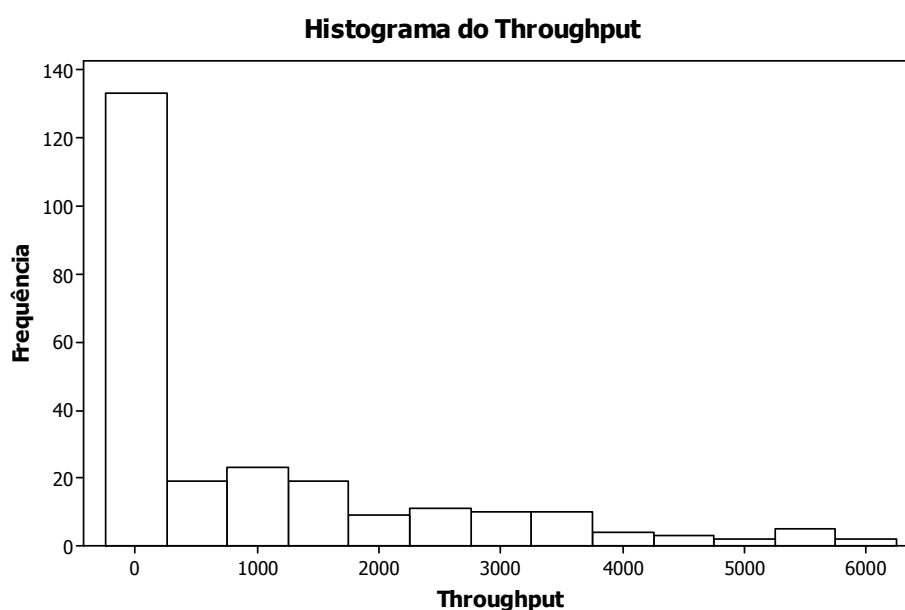


Figura 4.11: Histograma *Throughput*

O histograma da figura 4.11 mostra que a maior frequência de valores para o *Throughput* foi 0 (Kbps). Em maior parte das amostras coletadas no trajeto não ocorreu *download* de dados no sentido estação rádio base para o aparelho móvel celular.

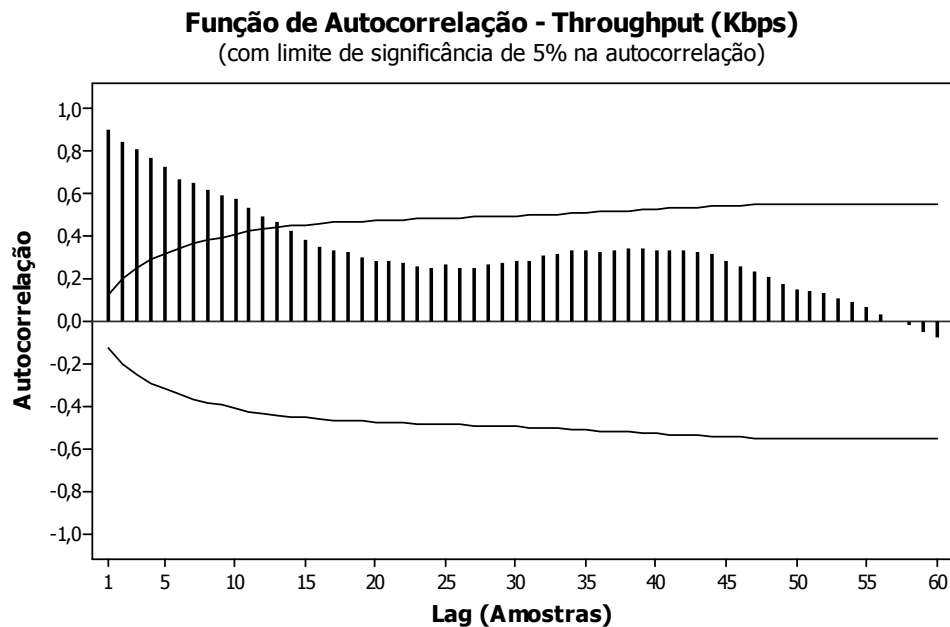


Figura 4.12: Autocorrelação *Throughput*

A série *Throughput* não é estacionária por ter várias amostras dos *lags* iniciais na autocorrelação acima do limite significância de 5% conforme mostra a Figura 4.12.

A predição futura de 25 amostras da série temporal *Throughput* (Kbps) é apresentada na Figura 4.13.

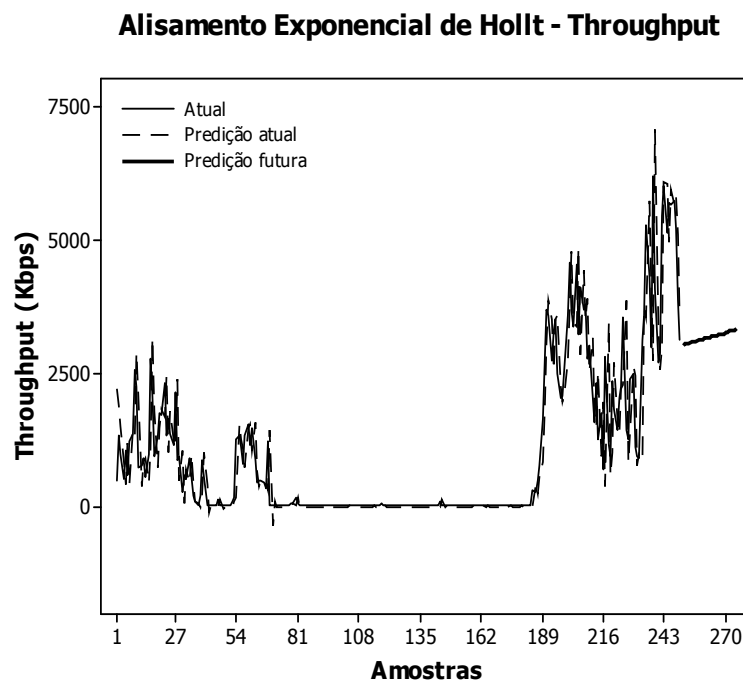


Figura 4.13: Predição *Throughput* – Modelo Holt

A Tabela 4.10 mostra o desempenho no uso do preditor do modelo Holt com valores de α e β calculados no *software* Minitab tendo valores diferentes para cada parâmetro. As predições foram realizadas na sessão anterior com as onze séries de cada parâmetro e aqui foram selecionadas as quatro séries que obtiveram os melhores resultados.

Tabela 4.10: Modelo Holt – Comparação resultados

Parâmetros	Amostras	α	β	MAPE (%)	MAD	MSD
<i>Rx Power</i>	250	1,1268	0,0045	3,4912	2,3792	11,1031
RSCP	250	1,9819	0,0125	2,4627	1,8541	6,1842
Ec/Io	245	1,1230	0,0053	17,680	1,0775	2,2854
<i>Throughput</i>	250	1,2420	0,01036	88	370	467686

De acordo com os resultados da Tabela 4.10, pode-se observar que o melhor desempenho de previsão no modelo Holt é alcançado nos parâmetros RSCP com melhor MAPE. Vale ressaltar que o valor do MAD da série RSCP é bom, mas não melhor que o MAD da série Ec/Io que também apresenta o melhor MSD entre as quatro séries. A série Ec/Io apresentou um MAPE de valor elevado.

Para aperfeiçoar o uso dos valores das constantes de nível α e tendência β apresentados até o momento, foi realizada a média das duas constantes nas onze séries das tabelas 4.4 e 4.6 dos parâmetros RSCP e Ec/Io, sendo apresentadas na Tabela 4.11. Para isso foi necessário uma nova análise e modelagem num novo modelo Holt.

Tabela 4.11: Modelo Holt – Médias das constantes α e β

Parâmetros	Amostras	α	β	MAPE (%)	MAD	MSD
RSCP	250	1,2431	0,0098	2,4868	1,8728	6,3261
Ec/Io	245	1,1474	0,0090	17,5990	1,0793	2,2896

Os resultados apresentados na Tabela 4.11 foram comparados com os resultados apresentados na Tabela 4.10 (RSCP e Ec/Io), os quais até o momento havia apresentado as melhores medidas de acurácia. O resultado da comparação mostra que os modelos obtidos na tabela 4.10 ainda apresentam o melhor desempenho tendo as medidas de MAPE = 2,4627 (RSCP), MAD = 1,0775 e MSD = 2,2854 (Ec/Io).

Em busca da superação dos resultados obtidos nas tabelas 4.10 e 4.11, ainda foi realizado um novo *drive test* para coleta de amostras e construção um novo modelo Holt com as constantes de nível α e tendência β calculadas pelo *software* Minitab. O objetivo é utilizar novas séries independentes das coletadas no primeiro *drive test* realizado. Os resultados do modelo Holt das novas séries são apresentados na Tabela 4.12.

Tabela 4.12: Modelo Holt - novo *drive test*

Parâmetros	Amostras	α	β	MAPE (%)	MAD	MSD
RSCP	250	0,990	0,009	2,4472	2,0268	7,4072
Ec/Io	245	1,1082	0,0096	13,1111	0,9807	2,2855

Concluiu-se que os resultados obtidos do novo *drive test* conforme Tabela 4.12 apresentou o melhor desempenho com as menores medidas de acurácia dos parâmetros apresentados nas tabelas 4.10 e 4.11. As medidas de acurácia do parâmetro Ec/Io foram MAPE = 2,4472, MAD = 0,9807. Vale ainda ressaltar que o valor do MSD = 7,4072 do parâmetro RSCP na Tabela 4.12 apresentou o maior valor (pior desempenho) dentre os valores da medida do mesmo parâmetro nas tabelas 4.10 e 4.11.

Conforme mostrado em seção anterior deste trabalho, os parâmetros das séries temporais escolhidas RSCP e Ec/Io têm a relação matemática da seguinte forma: RSCP (dBm) = RSSI (dBm) + Ec/Io (dBm). As séries RSCP e Ec/Io da Tabela 4.12 têm correlação de Pearson de valor de 0,177 (fraca correlação), portanto, indica que as séries quase não têm dependência linear uma da outra, mas pode existir uma dependência não linear. Para realização do cálculo da correlação de Pearson foi utilizado um ajuste que desconsiderou cinco amostras (2%) da série RSCP para ficar com a mesma quantidade de amostras (245) da série Ec/Io.

A série temporal das amostras Ec/Io se caracteriza pela estatística descritiva da tabela 4.13. Para essa série, pode-se observar que a relação sinal-interferência média foi de $-8,231$ dB. A variância, nesse caso, foi de 3,302. Os níveis mínimo e máximo do Ec/Io foram $-15,390$ dB e $-3,450$ dB, respectivamente. O valor mínimo mostra que em algum momento do novo *drive test* a relação sinal-interferência degradou a qualidade do sinal ou alguma região da rota não havia cobertura satisfatória (área de sombra). Para o caso de área de sombra, o valor do RSCP nesta região deve apresentar um valor abaixo de -100 dBm.

Tabela 4.13: Estatística descritiva – Ec/Io novo *drive test*

Variável	Média	D. Padrão	Variância	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
Ec/Io	-8,231	1,817	3,302	-15,390	-3,450	0,43	1,07

O histograma e o gráfico de autocorrelação da série Ec/Io são apresentados nas figuras 4.14 e 4.15.

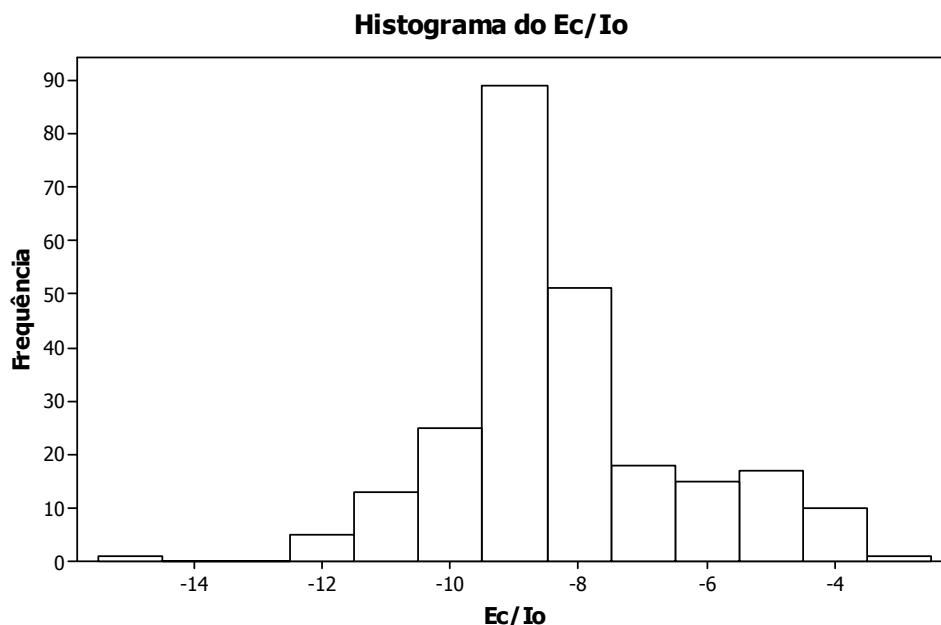


Figura 4.14: Histograma - Ec/Io novo *drive test*

O histograma da figura 4.8 mostra que a maior frequência de valores para a relação sinal-interferência está entre -9,5 e -8,5 dB confirmando a região de cobertura com boa qualidade do sinal na rota das amostras coletadas.

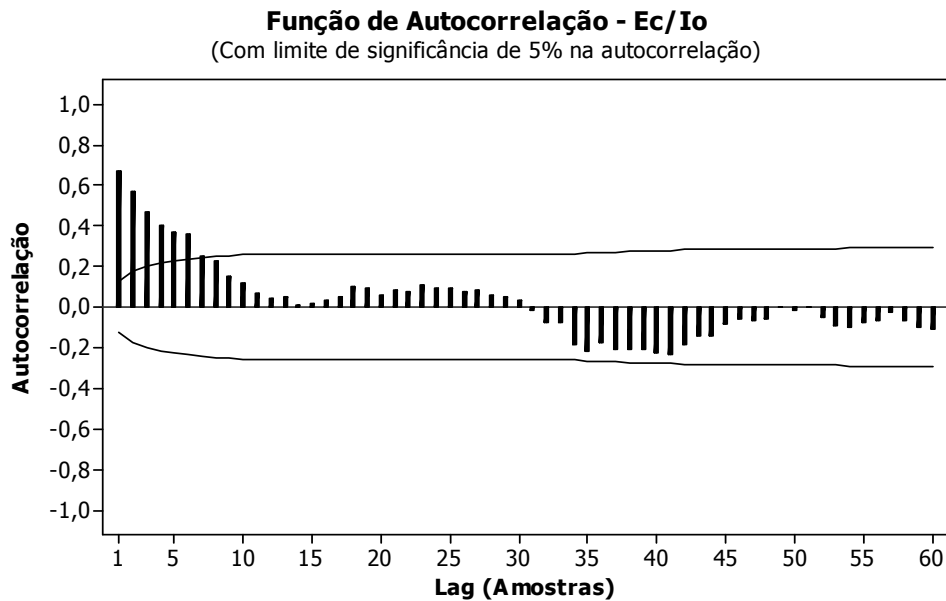


Figura 4.15: Autocorrelação- E_c/I_o novo *drive test*

A série E_c/I_o não é estacionária por ter várias amostras dos *lags* iniciais na autocorrelação acima do limite significância de 5% conforme mostra a Figura 4.15.

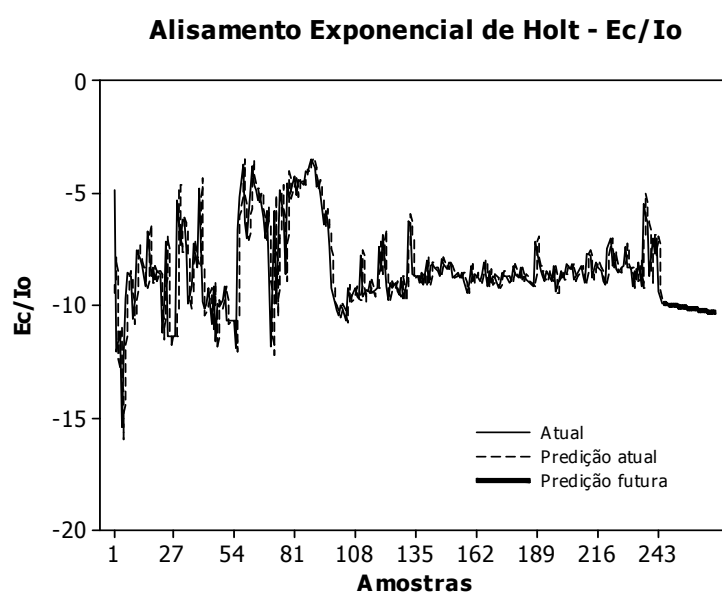


Figura 4.16: Predição Ec/Io - Modelo Holt novo *drive test*

A série temporal das amostras RSCP da tabela se caracteriza pela estatística descritiva na Tabela 4.14. Para essa série, pode-se observar que a potência média de código recebida foi de $-82,87$ dBm. A variância foi de $57,67$, o que confirma a natureza variável do ambiente de propagação. Os níveis mínimo e máximo da potência recebida foram $-104,97$ dBm e $-67,42$ dBm, respectivamente, o valor mínimo mostra que em algum momento do novo *drive test* a cobertura foi insatisfatória.

Tabela 4.14: Estatística descritiva – RSCP novo *drive test*

Variável	Média	D. Padrão	Variância	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
RSCP	-82,87	7,59	57,67	-104,97	-67,42	-0,57	0,44

O histograma e o gráfico de autocorrelação da série Ec/Io são apresentados nas figuras 4.17 e 4.18.

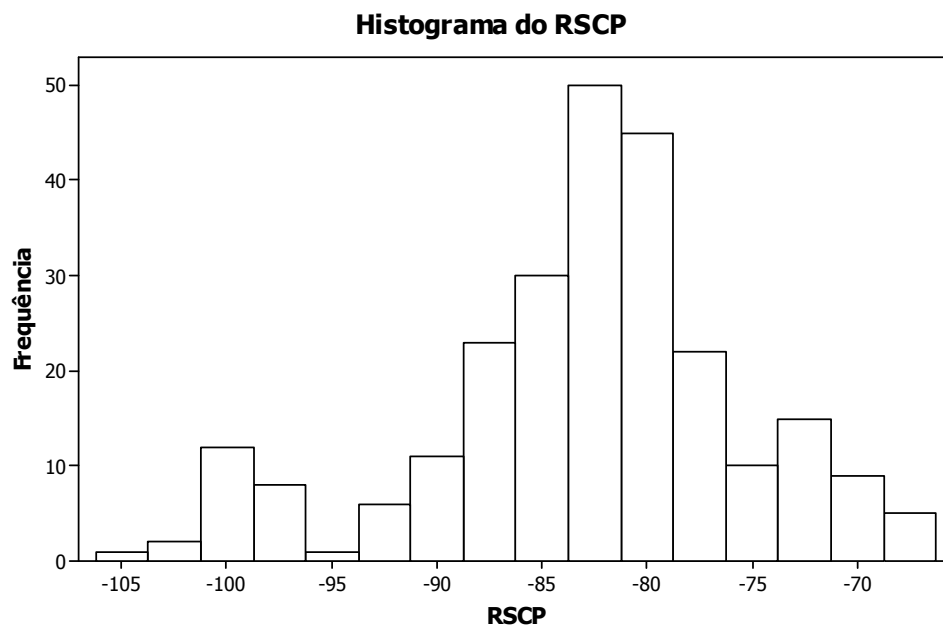


Figura 4.17: Histograma – RSCP novo *drive test*

O histograma da figura 4.17 mostra que a maior frequência de valores da potência média de código recebida entre -83,7 dBm e -81,2 dBm confirmando a boa cobertura na rota das amostras coletadas.

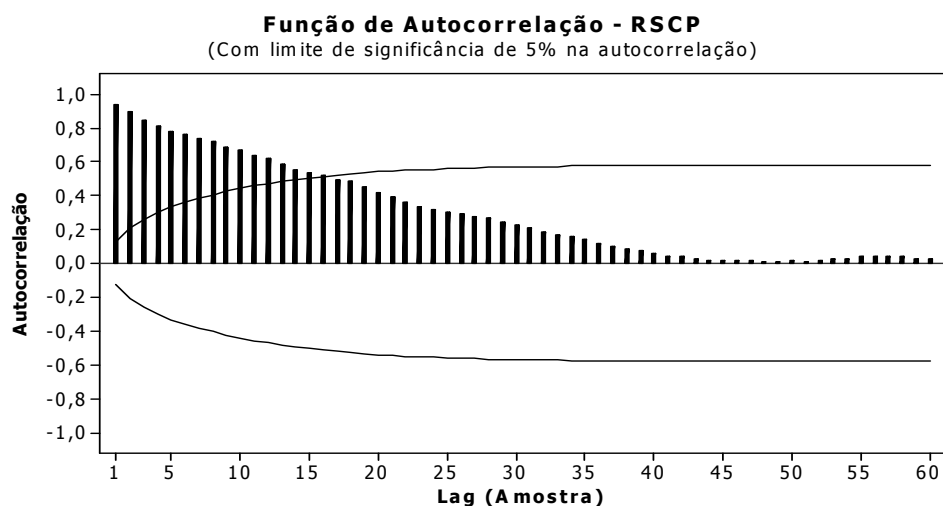


Figura 4.18: Autocorrelação – RSCP novo *drive test*

A série RSCP não é estacionária por ter várias amostras dos *lags* iniciais na autocorrelação acima do limite significância de 5% conforme mostra a Figura 4.18.

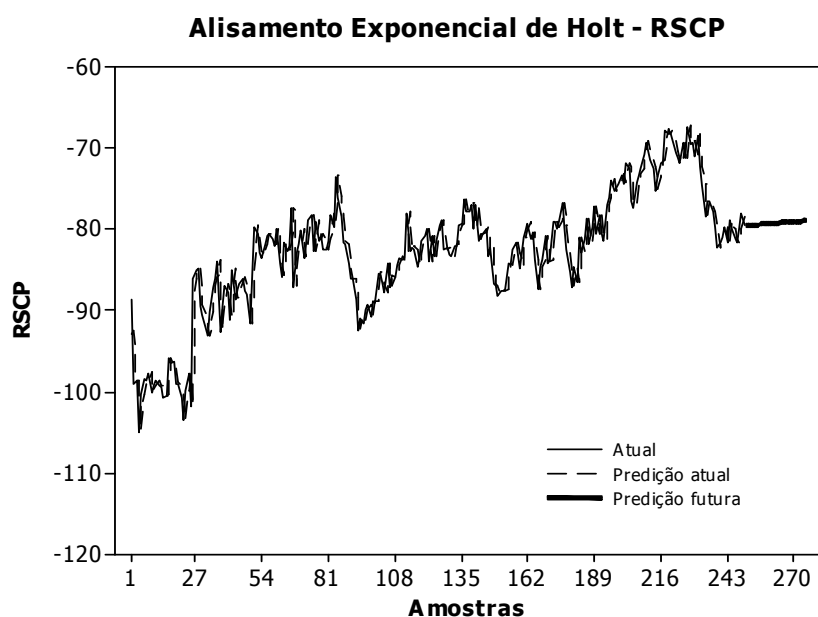


Figura 4.19: Predição RSCP – Modelo Holt novo *drive test*

As duas séries Ec/Io e RSCP da Tabela 4.12 que apresentaram o melhor desempenho no modelo Holt foram utilizadas para aplicação dos modelos Holt-Winters Multiplicativo, Aditivo e de Alisamento Exponencial Simples obtendo os resultados que são apresentados a seguir nas tabelas 4.15, 4.16 e 4.17.

Para aplicação dos modelos Holt-Winters foi utilizado o *software* Oracle Crystal Ball® versão 11.1.3436.0 para obter os valores das constantes de nível α , tendência β e do fator sazonal γ . Observou-se através do mesmo *software* que as séries Ec/Io e RSCP não apresentaram comportamentos com ciclos sazonais. Para garantir que as séries realmente não apresentariam ciclos sazonais foi utilizado o *software* MegaStat® versão 10.1 para dessazonalizar as séries. Após isso foram realizadas as análises, modelagens e predições no *software* Minitab 16 para o modelo Holt-Winters Aditivo e Multiplicativo. Os resultados não tiveram diferenças de quando utilizado as séries originais ou de quando utilizada as séries dessazonalizadas, ou seja, isso garante que as séries realmente não apresentaram ciclos sazonais. Diante da informação de que as séries Ec/Io e RSCP não são sazonais e de que as amostras foram coletadas a cada segundo, os modelos Holt-Winters foram ajustados para um período sazonal com o alto valor de 240 indicando que em todo trajeto da série não ocorre

ciclos de comportamentos semelhantes (ciclos sazonais). Quando determinadas séries temporais são feitas de dados mensais num ano, os ciclos se repetem depois de doze meses, neste caso, o valor do período sazonal seria igual a 12.

A Tabela 4.15 mostra o desempenho no uso do preditor do modelo Holt-Winters Multiplicativo para os parâmetros RSCP e Ec/Io com valores de α , β e γ calculados pelo *software* Crystal Ball.

Tabela 4.15: Modelo Holt-Winters Multiplicativo

Parâmetros	Amostras	α	β	γ	Tam. Sazonal	MAPE (%)	MAD	MSD
RSCP	250	0,6347	0,0010	0,6564	240	0,5830	0,5041	2,6060
Ec/Io	245	0,3605	0,0010	0,4437	240	1,0045	0,0879	0,1781

De acordo com os resultados da Tabela 4.15, pode-se observar que o melhor MAPE (0,58303) é alcançado na modelagem do parâmetro RSCP usando o Holt-Winters Multiplicativo. Vale ressaltar que o valor do MAD (0,5041) da série RSCP também é bom, mas não melhor que o MAD (0,0879) da série Ec/Io que também apresenta o melhor MSD (0,1781) entre as duas séries. As modelagens e a predições do modelo Holt-Winters Multiplicativo são exibidas nas figuras 4.20 e 4.21.

O modelo Holt-Winters Multiplicativo é usado para curtas e médias predições, o tamanho do padrão sazonal é proporcional ao tipo de dados que está sendo trabalhado e neste caso tem valor 240. O perfil de linha reta é multiplicado pelo próprio padrão sazonal.

Alisamento Exponencial Multiplicativo de Holt Winters - RSCP

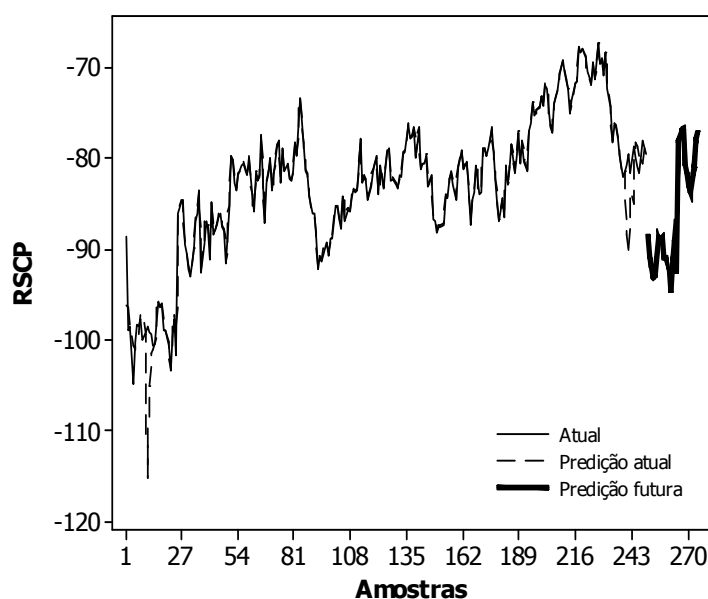


Figura 4.20: Predição RSCP – Modelo Holt-Winters Multiplicativo

Alisamento Exponencial Multiplicativo de Holt Winters - Ec/Io

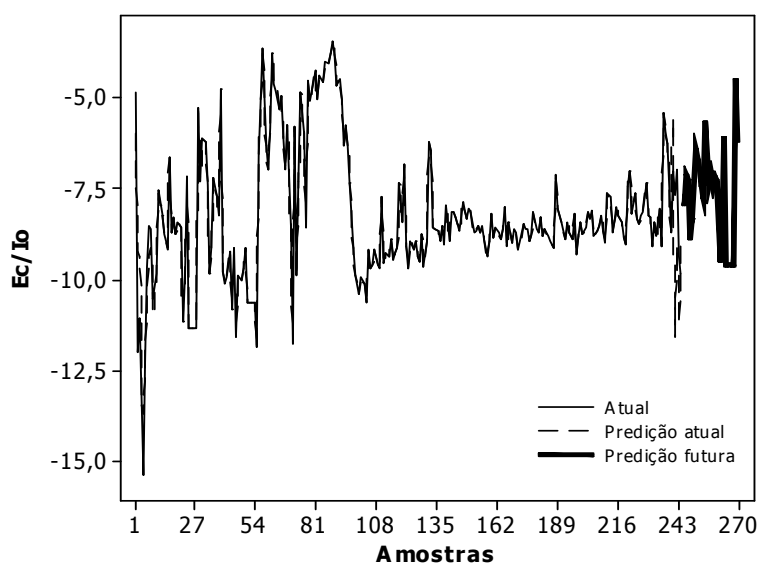


Figura 4.21: Predição Ec/Io – Modelo Holt-Winters Multiplicativo

A Tabela 4.16 mostra o desempenho no uso do preditor do modelo Holt-Winters Aditivo para os parâmetros RSCP e Ec/Io com valores de α , β e γ calculados pelo *software* Crystal Ball.

Tabela 4.16: Modelo Holt-Winters Aditivo

Parâmetros	Amostras	α	β	γ	Tam. Sazonal	MAPE	MAD	MSD
RSCP	250	0,6510	0,0010	0,6312	240	0,2422	0,2094	0,8629
Ec/Io	245	0,4241	0,0010	0,4493	240	0,9707	0,0863	0,1603

De acordo com os resultados da Tabela 4.16, pode-se observar que o melhor MAPE (0,2422) é alcançado na modelagem do parâmetro RSCP usando o Holt-Winters Aditivo, o valor do MAD (0,2094) da série RSCP é considerado bom, mas não melhor que o MAD (0,0863) da série Ec/Io que também apresenta o melhor MSD (0,1603) entre as duas séries. As modelagens e a predições do modelo Holt-Winters Aditivo são exibidas nas figuras 4.22 e 4.23.

O modelo Holt-Winters Aditivo é usado para curtas e médias predições, o tamanho do padrão sazonal é proporcional ao tipo de dados que está sendo trabalhado e neste caso tem valor 240. O perfil de linha reta é somado pelo próprio padrão sazonal.

Alisamento Exponencial Aditivo de Holt Winters - RSCP

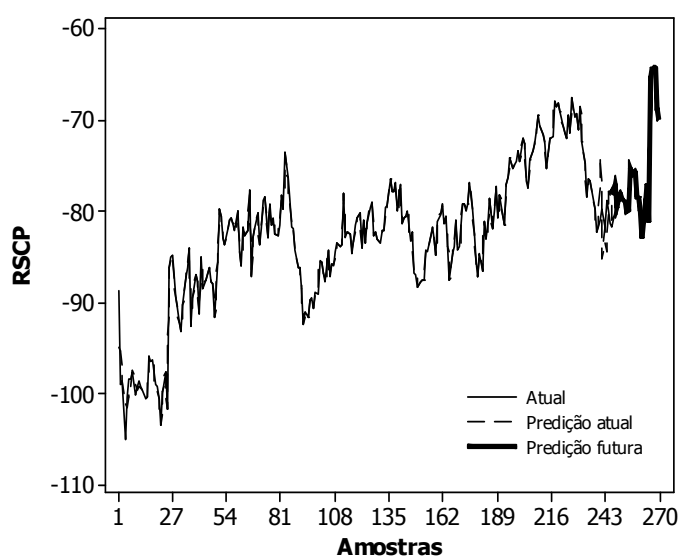


Figura 4.22: Predição RSCP – Modelo Holt-Winters Aditivo

Alisamento Exponencial Aditivo de Holt Winters - Ec/Io

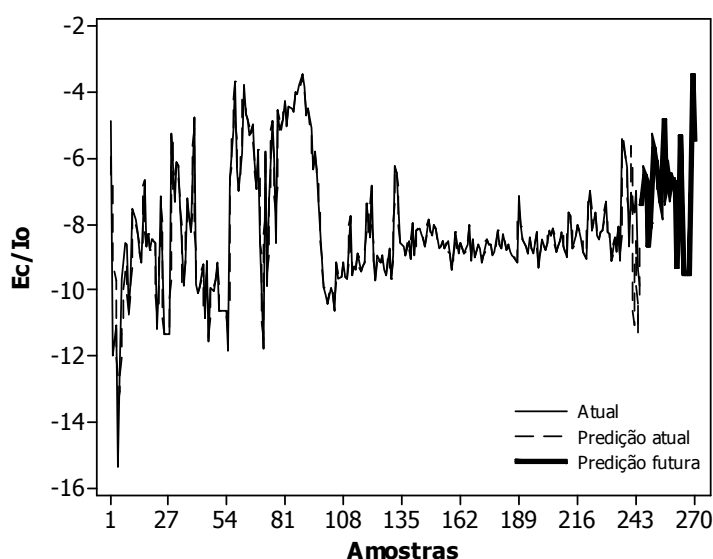


Figura 4.23: Predição Ec/Io – Modelo Holt-Winters Aditivo

A Tabela 4.17 mostra o desempenho no uso do preditor do modelo de Alisamento Exponencial Simples para os parâmetros RSCP e Ec/Io com valores de α calculados pelo *software* Crystal Ball.

Tabela 4.17: Modelo de Alisamento Exponencial Simples

Parâmetros	Amostras	α	MAPE (%)	MAD	MSD
RSCP	250	0,8391	2,4378	2,02214	7,42809
Ec/Io	245	0,6340	11,7722	0,8684	1,9124

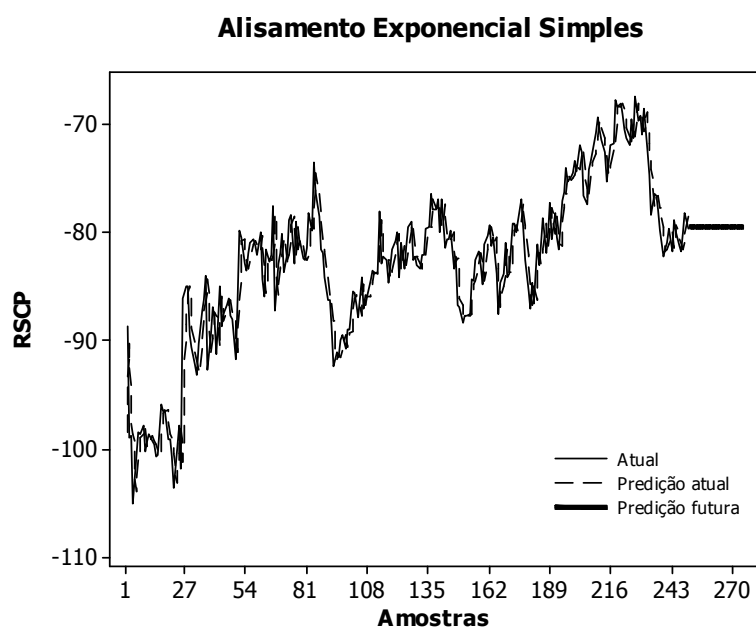


Figura 4.24: Predição RSCP – Modelo de Alisamento Simples

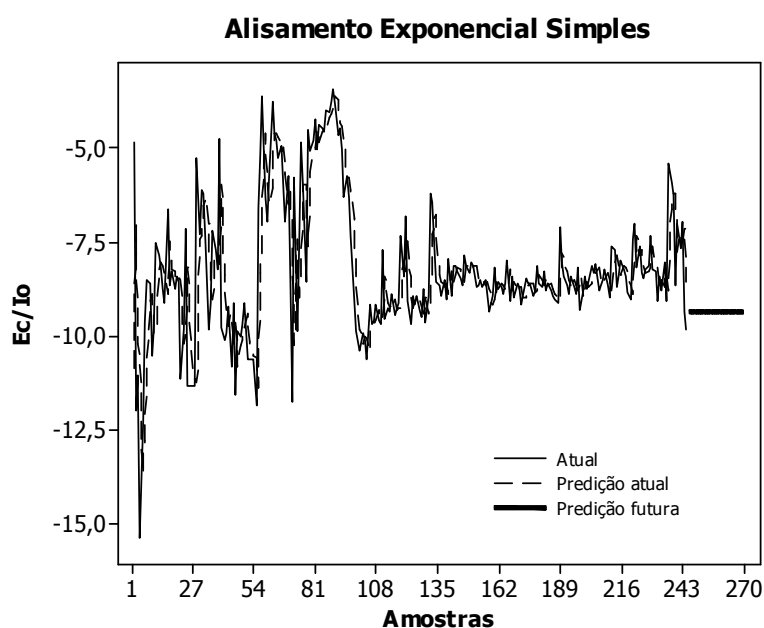


Figura 4.25: Predição Ec/Io– Modelo de Alisamento Simples

De acordo com as tabelas 4.12, 4.15, 4.16 e 4.17 o modelo de Alisamento Exponencial Holt-Winters Aditivo apresentou o melhor desempenho com as melhores medidas de acurácia com as séries RSCP (MAPE=0,2422) e Ec/Io (MAD=0,0863) e (MSD=0,1603) conforme

Tabela 4.16, em segundo ficou o modelo Holt-Winters Multiplicativo com as séries RSCP (MAPE=0,5830), Ec/Io (MAD=0,0879 e MSD=0,1781) conforme Tabela 4.15. O modelo de Alisamento Exponencial Simples ainda apresentou melhores resultados do que no modelo de Alisamento Holt (Tabela 4.12) com RSCP (MAPE=2,4378) e Ec/Io (MAD=0,8684) e (MSD=1,9124) conforme Tabela 4.17.

As figuras que apresentaram as previsões futuras dos modelos construídos neste trabalho mostraram que as previsões nos modelos Holt-Winters Aditivo e Multiplicativo representaram melhor graficamente as séries originais em relação aos modelos Holt e o de Alisamento Exponencial Simples.

4.6 – Conclusão

Neste capítulo, foram apresentadas as medições dos valores de parâmetros numa rede WCDMA/HSPA. Foram realizadas as análises, modelagens e previsões das séries temporais utilizando os modelos de Alisamento Exponencial Simples, Alisamento Exponencial Holt, Alisamento Exponencial Holt-Winters Aditivo e Alisamento Exponencial Holt-Winters Multiplicativo. Foi visto que os modelos Holt-Winters Aditivo e Multiplicativo apresentaram as melhores medidas de acurácia com as séries RSCP e Ec/Io. No Capítulo 5, são apresentadas as conclusões finais do trabalho.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Neste trabalho, foram apresentados os modelos de Alisamento Exponencial Simples, Holt e Holt-Winters Aditivo e Multiplicativo. Os resultados apresentados mostram que os modelos Holt-Winters funcionam satisfatoriamente na modelagem e predição das séries temporais.

A predição futura de parâmetros medidos através de *drive test* na rede WCDMA/HSPA dá uma visibilidade antecipada de áreas críticas em regiões urbanas com coberturas problemáticas que apresentam tendências de degradação da qualidade do sinal. Este trabalho fornece o comportamento das séries preditas. É reconhecido que um estudo detalhado dos parâmetros na rede é necessário para realização de ações antecipadas por responsáveis pela Otimização e Planejamento de investimentos nas redes. Estas ações podem evitar perda de receita e reclamações de clientes usuários nas companhias que operam as redes móveis celulares.

Uma breve introdução com a proposta de realizar um *drive test* para coleta dos parâmetros *Rx Power*, *RSCP*, *Ec/Io* e *Throughput* pôde ser vista no Capítulo 1. A modelagem e predição destes parâmetros em forma de séries temporais com os modelos de Alisamento Exponencial Simples, Alisamento Exponencial Holt, Alisamento Exponencial Holt-Winters Aditivo e Alisamento Exponencial Holt-Winters Multiplicativo, também foi proposta no capítulo 1.

No Capítulo 2, foi apresentada uma descrição geral de *KPI* e *drive test* citando a importância de ambas ferramentas no diagnóstico de falhas na rede de telefonia móvel celular. Foi visto que toda estrutura de rede WCDMA pode ser aproveitada para implantação da tecnologia HSPA. Foi descrito a representação matemática dos parâmetros de rede coletados no *drive test*.

Foi visto no Capítulo 3 que para realizar análise de séries temporais é necessário realizar as atividades de modelagem e previsão. No mesmo Capítulo, foi citado que a dependência serial entre os valores da série é essencial para permitir gerar previsões futuras e o aumento do horizonte de previsão pode comprometer o nível de incertezas.

No Capítulo 4, foi mostrado através da figura 4.1 que no *drive test* realizado, a maior parte do trecho percorrido coletou *RX Power* maior ou igual a - 60 dBm. Demonstrando o bom nível de cobertura na região. Ficou comprovado que para o modelo de Holt, as séries RSCP e Ec/Io tiveram as melhores medidas de acurácia, conforme tabela 4.12. Apresentou-se que o modelo de Alisamento Exponencial Simples ainda apresentou melhores resultados para as séries RSCP e Ec/Io do que o modelo de Alisamento Holt, conforme tabela 4.17.

Ainda no Capítulo 4, para comparação dos modelos, foram utilizados os modelos Holt-Winters Aditivo e Multiplicativo que são usados para séries que apresentam ciclos sazonais, mas neste trabalho foram ajustados para séries dessazonalizadas (comprovado dessazonalidade com os *softwares* Oracle Crystal Ball® e MegaStat®). O modelo de Holt-Winters Aditivo apresentou as melhores medidas de acurácia para as séries RSCP e Ec/Io quando comparados com os demais modelos, conforme tabela 4.16.

Partindo do princípio de que a pesquisa é um processo contínuo, é intuitivo se pensar em trabalhos futuros, haja vista que os resultados obtidos neste trabalho podem servir de base para trabalhos que deverão surgir. A continuidade deste trabalho é recomendada, em função das várias possibilidades, conforme algumas mencionadas a seguir.

É válido buscar outras técnicas como de regressão linear, metodologia Box-Jenkins, entre outras, para estudo de séries temporais para analisar as séries *RX Power*, *Throughput*, RSCP e Ec/Io.

Interessante também realizar análise de novos parâmetros da rede WCDMA/HSPA com os modelos e metodologias apresentadas neste trabalho.

Finalizando, as séries temporais dos parâmetros da rede também podem ser preditas com o uso de redes neurais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Zheng, Y., Ren, S., Xu, X., Si, Y., Dong & M., Wu, J. , ‘A modified ARIMA model for CQI prediction in LTE-based mobile satellite communications’, 2012, *IEEE Transactions on Education*, 822-826, 23-25.
- [2] Touheed, H., Quddus, A.U. & Tafazolli, R., ‘Predictive CQI reporting for HSDPA’, (2008). *IEEE Transactions on Education* 1-5, 15-18.
- [3] Klockar, L., Simonsson, A., Gunnarsson, F., & Borg, A., ‘Channel Characterization and HSDPA Bit Rate Prediction of a Dense City Network’, 2009, *IEEE Transactions on Education*, 1-5, 26-29.
- [4] Cui, T., Lu, F., Sethuraman, V., Goteti, A., Rao, S. P., Subrahmanya, P., ‘First Order Adaptive IIR Filter for CQI Prediction in HSDPA’, 2010, *IEEE Transactions on Education*, 1-5, 18-21.
- [5] Wei, William W.S., Time Series Analysis – Univariate and Multivariate Methods, Pearson Education, Boston, 2006
- [6] Morettin, P. A, Toloi C. M. C. , Modelos para Previsão de Séries Temporais, Instituto de Matemática Pura e Aplicada, Rio de Janeiro, 1981.
- [7] Box, George E. P., Jenkins, Gwilym, M. & Reinsel, Gregory C., Time Series Analysis Forecasting and Control. Prentice Hall, New Jersey, 1994.
- [8] Chatfield, Chris, Time-series forecasting, Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, 2000.
- [9] Montgomery, Douglas C., Jennings, Cheryl, L & Kulahci, Murat. Introduction to Time Series Analysis and Forecasting, John Wiley & Sons, New Jersey, 2008.
- [10] Box, George E. P., Jenkins, Gwilym, M., Time Series Analysis Forecasting and Control. Holden Day, California, 1976.
- [11] J. Sánchez-González *et al.*, “A New RF Methodology for Failure Detection in UMTS Networks,” *IEEE/IFIP Network Operations and Management Symp.*, Salvador da Bahia, Brazil, April, 2008, pp. 718–21.
- [12] 3GPP (2002), ‘Physical Layer Measurements (FDD) - Release 5’, TS 25.215, v.5.4.0.
- [13] 3GPP (2003), ‘Radio Resource Control (RRC) - Release 5’, TS 25.331, v. 5.4.0.
- [14] H. Holma and A. Toskala, *HSDPA/HSUPA for UMTS: High Speed Radio Access for Mobile Communications*, John Wiley & Sons, Inc., Chichester, 2006.

- [15] Kaaranen, Heikki et al. UMTS NETWORKS: Architecture, Mobility and Services, John Wiley & Sons Ltd, Inc., West Sussex, 2005.
- [16] Pedrini, Leon ardo Z. (2008), O que é E_c/I_o (e E_b/N_o)?, Telecom Hall BR homepage, Brasil.
- *<http://www.telecomhall.com/br/o-que-e-ecio-e-ebno.aspx>
- [17] JS Blogh, L. Hanzo, Third Generation Systems and Intelligent Wireless Networking—Smart Antennas and Adaptive Modulation, John Willey & Sons, Chichester, 2002.
- [18] H. Holma and A. Toskala, eds., WCDMA for UMTS : Radio Access for Third Generation Mobile Communications, John Wiley & Sons, New York, 2001.
- [19] Salvado, Luís F. L. (2008), Comparison between UMTS/HSDPA and WiMAX/IEEE 802.16e in Mobility Scenarios, Tese de mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal.
- [20] Barros, M. (2004). Processos Estocásticos. Rio de Janeiro: Papel Virtual.
- [21] Makridakis, S.; Wheelright, S. C.; Hyndman, R. J. Forecasting - Methods and Applications. New York: John Wiley, 1998.
- [22] Pellegrini, F. R. Metodologia para Implementação de Sistemas de Previsão de Demanda. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Programa de Pos-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- [23] Snyder, R. D.; Shami, R. G. Exponential Smoothing of Seasonal Data: A Comparison. Journal of Forecasting. v. 20, p. 197-202, 2001.
- [24] Abraham, B.; Ledolter, J. Statistical Methods for Forecasting. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1983.
- [25] Armstrong, J. S.; Collopy, F. Error Measures For Generalizing About Forecasting Methods: Empirical Comparisons. International Journal of Forecasting. v.8, p. 69-80, 1992.
- [26] Hyndman, R. J.; Koehler, A. B. Another Look at Measures of Forecast Accuracy. International Journal of Forecasting. v.22, p. 679-688, 2006.
- [27] Fader, P. S.; Hardie, B. G. S.; Zeithammer, R. Forecasting new product trial in a controlled test market environment. Journal of Forecasting. v. 22, 2003, p. 391-410.