DISCIPLINA: TÉCNICAS DE ANÁLISE E DESEMPENHO DE SISTEMAS DE COMPUTAÇÃO

PROFESSORES: CELSO CARNEIRO RIBEIRO

NOEMI RODRIGUEZ

ALUNO:ANTONIO BENEDITO C. SAMPAIO JUNIOR - 9916361-8

TEMA:

ANÁLISE DE PERFORMANCE EM UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO, BASEADO NO MODELO RM-OSI

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO 4
1.1 - Análise de Performance em Redes de Computadores 4
1.2 - Objetivo da Análise 5
2 - CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA 6
2.1 - Métrica 6
2.2 - Fatores de Desempenho 6
2.3 - Cargas 8
2.4 - Descrição do Sistema 8
3 - CONJUNTO DE EXPERIMENTOS 10
3.1 - Nível dos Fatores 10
3.1.1 - Níveis do IFS (IFS) 10
3.1.2 - Taxa de Transmissão (T.T) 10
3.1.3 - Tamanho do Quadro (T.Q) 10
3.2 - Experimentações 10
3.3 - Como foram Realizadas as Experimentações 17
3.3.1 - Níveis do IFS (IFS) 17
3.3.2 - Taxa de Transmissão (T.T) 17
3.3.3 - Tamanho do Quadro (T.Q) 17
3.3.4 - Tempo de recebimento de um Quadro (tc) 18
3.4 - Análise dos Dados das Experimentações 19
3.4.1 - Variação Intra-Tratamentos 19
3.4.3 - Comparação entre Estimativas Intra e Entre Tratamentos 24
3.4.4 - Verificação da Hipótese Nula 24
4 - MODELAGEM DO SISTEMA EM ESTUDO 26
4.1 - Definição de um Modelo Matemático 26
4.2 - Estimativas dos Parâmetros da Equação através da Notação Vetorial 29
4.2.1 - Cálculo do Valor de b 30
4.2.2 - Cálculo do Valor de ε 31

4.3 - Alocação de Variação 32
4.4 - Desvios Padrões dos Erros 34
4.5 - Intervalos de Confiança 34
4.6 - Intervalos de Confiança para os Parâmetros b0, b1, b2 e b3 35
4.7 - Análise das Variâncias 36
4.8 - Interpretação e Análise dos Resultados 37
5 - VERIFICAÇÃO DA VALIDADE DO MODELO DE REGRESSÃO 39
5.1- Argumentos que verificam a Aderência do Modelo 39
5.1.1- Relação Linear 39
5.1.2 - Os Erros são Independentes 39
5.1.3 - Os Erros estão Normalmente Distribuídos 40
5.1.4 - O Desvio Padrão dos Erros é constante 41
6 - CONCLUSÃO 42
7 - BIBLIOGRAFIA 43
APÊNDICE A 44

1

INTRODUÇÃO

1.1 - Análise de Performance em Redes de Computadores

Com o crescimento da exigência por qualidade, rapidez e segurança nos serviços de comunicação de dados - devido ao surgimento de novas aplicações que demandam maior taxa de transferência de dados, menores taxas de erros e um mercado cada vez mais competitivo - o estudo dos diversos parâmetros que qualificam se um sistema de comunicação funciona de maneira satisfatória ou não, cresceu assustadoramente de importância.

Um dos principais parâmetros estudados em um sistema de comunicação de dados é a análise da performance, verificando-se quais os principais fatores que afetam a performance do sistema e como medido-los.

Este trabalho propõe o estudo de um simples sistema de comunicação, baseado no modelo RM-OSI, onde serão verificados quais os principais parâmetros que afetam a performance deste sistema.

Este sistema de comunicação é composto basicamente por: dois computadores do Laboratório de Computação da Graduação; um cabo com conectores DB-9; um sistema de comunicação (feito em linguagem C) que permite a troca de pacotes entre duas estações, tendo como referência o modelo OSI de referência.

A troca de pacotes é baseada um serviço não orientado e sem conexão (datagrama não confiável), onde os pacotes enviados com erro (FCS erro ou erro do meio de transmissão) são descartados sem que o receptor os receba.

A comunicação será feita através das portas seriais, motivados pela simplicidade e disponibilidade dos computadores pessoais, que em geral possuem portas seriais RS 232 com conectores DB-9.

O cabo confeccionado tem conectores DB-9 para 3 máquinas. Utiliza-se 2 vias: GND (terra comum) e uma linha de sinal bidirecional TX-RX. Um diodo de uso geral permite o uso compartilhado da mesma linha pelos sinais de RX e TX.

1.2 - Objetivo da Análise

O principal objetivo deste trabalho é realizar um estudo para a verificação dos diversos fatores que afetam a performance do sistema de comunicação em estudo, observando-se:

- A camada física (primeira camada do modelo OSI) é responsável pelo envio e recebimento de bits em um meio físico (neste trabalho, par trançado), tendo como responsabilidade a sincronização entre transmissor e receptor. Entretanto, parâmetros importantes como, detecção de erros durante a transmissão, não são considerados nesta camada.

- A camada de enlace (segunda camada do modelo OSI) tem como principal propósito prover uma transmissão de dados sem erro (*error-free*) entre duas ou mais estações conectadas a um mesmo meio físico, permitindo que a camada superior assuma que a transmissão recebida foi sem erro. Parâmetros importantes como espaçamento entre pacotes (Inter-Frame Space - IFS), tamanho dos pacotes, tempo de recebimento de um pacote, serão considerados.

O estudo de métricas de performance e os principais fatores que afetam estas métricas, neste sistema de comunicação, será o principal objetivo deste trabalho.

As principais limitações deste trabalho consistem na utilização de um número reduzido de fatores que afetam a performance (para prover maior simplicidade no tratamento dos dados obtidos experimentalmente), conexão ponto-a-ponto entre as estações e um sistema de comunicação baseado nas duas primeiras camadas do modelo OSI.

2

CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

2.1 - Métrica

A principal métrica estudada neste trabalho foi:

- O Tempo de Recebimento de um Pacote (*Throughput* do sistema) - O tempo para receber um pacote, pode ser calculado pela expressão:

Tempo Recebimento Pacote = IFS + (Tamanho Pacote / Taxa Transmissão)

Os pacotes recebidos com erro são descartados, não refletindo na performance do sistema pois só pacotes sem erro (FCS correto) são recebidas e o tempo para recebimento calculado.

2.2 - Fatores de Desempenho

Os principais parâmetros do sistema que afetam as métricas de performance são:

- Espaço entre Pacotes (IFS) - O IFS (Inter-Frame Space) indica o intervalo de tempo mínimo entre quadros. O objetivo da especificação desse tempo mínimo é a delimitação de quadros.

No envio de um novo quadro, é necessário verificar se o IFS já passou, ou seja, se o intervalo entre o instante atual e o instante de envio ou recepção do último byte é maior que IFS. O fato da delimitação de quadros ser feita por um espaço de tempo entre bytes faz com que o tempo máximo entre dois bytes do mesmo quadro seja inferior a IFS. Esta é uma restrição a ser observada na temporização do procedimento de envio.

O intervalo de tempo entre os quadros a serem enviados ou recebidos, será um dos principais fatores deste trabalho. O IFS é uma constante que indica o intervalo de tempo mínimo (em tiques de clock) entre quadros. O principal objetivo desta variável é verificar se o tempo

necessário para o espaço entre dois quadros IFS já ocorreu, ou seja, se o intervalo entre o instante atual e o instante de envio ou recepção do último byte do quadro mais recente é maior que IFS.

- Tamanho dos quadros - O tamanho dos quadros deverá ser padronizado, para facilitar a medição. Estes quadros deverão ser compostos de: número de bytes de dados + bytes de identificação + bytes redundantes (para a detecção de erros). O tamanho do quadro é um fator que afeta as métricas de performance.

Na implementação da camada física os dados manipulados, tanto no envio quanto na recepção, são bytes. Não há mecanismo de detecção de erros.

A camada de enlace, por sua vez, manipula os dados como seqüências de bytes, conhecidas como quadros. Estes quadros, além de incorporarem os dados de camada superior, guardam outro tipo de informações em campos reservados (cabeçalho e trailer). Em nossa implementação, o cabeçalho contém o endereço da estação que está enviando o quadro (sender address - SA) e o endereço da estação que deverá receber o quadro (destination address - DA). O cabeçalho é inserido antes dos dados da camada superior.

Informações para checagem de erros são inseridas no final do quadro. Utilizamos um octeto redundante chamado FCS (Frame Checking Sequence).

A Figura 1 ilustra melhor o formato do quadro, que têm tamanho máximo 103 octetos:

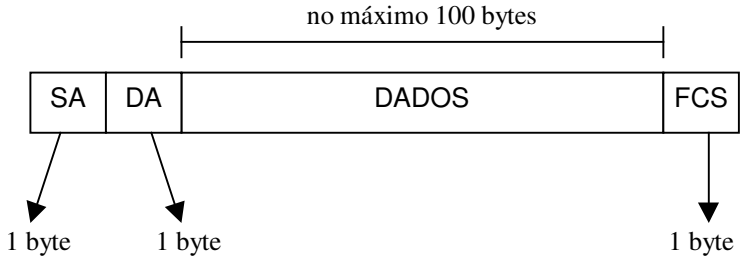

Figura 1 - Tipo de Pacote da Rede

- Taxa de Transmissão - Um fator importante que afeta a performance em uma comunicação serial assíncrona é a configuração da taxa de transferência do byte. O byte em questão é composto por: 8 bits de dados; 1 start bit; 1 stop bit; sem paridade (8N1).

2.3 - Cargas

A principal carga de trabalho (*workload*) utilizada neste sistema consiste em enviar e receber diferentes tipos de quadros (tamanhos diferentes), com diferentes IFS, taxas de transmissão, desconsiderando a ocorrência de colisão (envio de pacotes de maneira unidirecional) e em intervalos de tempo aleatórios[1].

2.4 - Descrição do Sistema

Os computadores do Laboratório tem a seguinte descrição:

- Processador - Pentium II 400 MHz;
- Memória RAM - 32 MB;
- Duas Portas Seriais - COM 0 e 1.

O sistema de comunicação implementado em linguagem C tem a seguinte descrição:

- Rotinas

```
- void P_ACTIVATE_Request(unsigned char port);
- void P_DATA_Request(unsigned char ch);
- unsigned char P_DATA_Indication;
- unsigned char P_DATA_Receive_Buffer;
- void P_DEACTIVATE_Request();
- void L_ACTIVATE_Request(unsigned int h_address);
- unsigned char L_DATA_Indication(void);
- unsigned char L_DATA_Receive(unsigned char *buffer, unsigned
  - char *end_origem);
  - void L_DATA_Request(unsigned char da, unsigned char
buffer[],          unsigned char n);
```

[1] Na verdade, um usuário envia pacotes de uma estação origem (endereço 0) para uma estação destino (endereço 1), e aguarda o recebimento do pacote pela estação de destino. Quando isto é feito (é mostrado no monitor da estação de destino), é enviado outro pacote até o término no número de observações.

- Funcionamento do Sistema

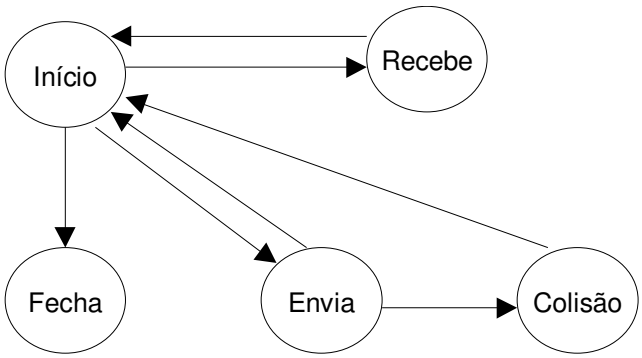

Figura 2 - Máquina de Estados do Sistema

Funciona como uma "máquina de estados", conforme mostra a figura 2, onde existem 5 estados possíveis (representados pela variável estado): INICIO, RECEBE, FECHA_QUADRO, ENVIA e COLISÃO.

3

CONJUNTO DE EXPERIMENTOS

3.1 - Nível dos Fatores

Serão considerados 3 fatores. IFS, Tamanho do Quadro e Taxa de Transmissão. Os dois primeiros fatores terão 2 níveis e o último terá 3 níveis.

3.1.1 - Níveis do IFS (IFS)

- Nível de Baixa Eficiência[2] - 18 tiques de clock;
- Nível de Alta Eficiência - 2 tiques de clock.

Onde cada tique de clock eqüivale a 0,054945 ms (par as estações em estudo).

3.1.2 - Taxa de Transmissão (T.T)

- Nível de Baixa Eficiência - 2400bps;
- Nível de Média Eficiência - 4800bps;
- Nível de Alta Eficiência - 9600bps.

3.1.3 - Tamanho do Quadro (T.Q)

- Nível de Alta Eficiência -30B;
- Nível de Baixa Eficiência -60B.

3.2 - Experimentações

Como temos 3 fatores a serem analisados, sendo que dois fatores tem 2 níveis e um fator tem 3 níveis, observam-se: 2 x 2 x.3 = 12 experimentações, que serão enumerados pelas letras do alfabeto.

Cada experimento será representado pela função $Y = f(IFS, TT, TQ)$.

Foram realizadas dez observações[3] para cada experimentação.

- **Experimento A**

[2] Neste trabalho os termos Alto, Média e Baixa Eficiência são relativos ao sistema em estudo. Em um sistema mais complexo, estes termos não estariam relacionados com os valores descritos acima.

Tabela1 - IFS=2; T.T = 9600; T.Q = 30B

Valor IFS (t.c)	Taxa de Transmissão (b.p.s)	Tamanho do Quadro (Bytes)	Tempo de recebimento de um Quadro (tc)
2	9600	30	10
2	9600	30	11
2	9600	30	10
2	9600	30	11
2	9600	30	10
2	9600	30	11
2	9600	30	11
2	9600	30	10
2	9600	30	10
2	9600	30	11

- **Experimento B**

Tabela2 - IFS=2; T.T = 9600; T.Q = 60B

Valor IFS (t.c)	Taxa de Transmissão (b.p.s)	Tamanho do Quadro (Bytes)	Tempo de recebimento de um Quadro (tc)
2	9600	60	19
2	9600	60	19
2	9600	60	20
2	9600	60	18
2	9600	60	19
2	9600	60	18
2	9600	60	20
2	9600	60	19
2	9600	60	20
2	9600	60	19

[3] Estas observações foram realizadas no dia 21/05/99.

- **Experimento C**

Tabela3 - IFS=18; T.T = 9600; T.Q = 30B

Valor IFS (t.c)	Taxa de Transmissão (b.p.s)	Tamanho do Quadro (Bytes)	Tempo de recebimento de um Quadro (tc)
18	9600	30	26
18	9600	30	26
18	9600	30	26
18	9600	30	26
18	9600	30	26
18	9600	30	27
18	9600	30	26
18	9600	30	27
18	9600	30	27
18	9600	30	27

- **Experimento D**

Tabela4 - IFS=18; T.T = 9600; T.Q = 60B

Valor IFS (t.c)	Taxa de Transmissão (b.p.s)	Tamanho do Quadro (Bytes)	Tempo de recebimento de um Quadro (tc)
18	9600	60	35
18	9600	60	35
18	9600	60	35
18	9600	60	34
18	9600	60	35
18	9600	60	35
18	9600	60	36
18	9600	60	35
18	9600	60	36
18	9600	60	37

- **Experimento E**

Tabela5 - IFS=18; T.T = 2400; T.Q = 30B

Valor IFS (t.c)	Taxa de Transmissão (b.p.s)	Tamanho do Quadro (Bytes)	Tempo de recebimento de um Quadro (tc)
18	2400	30	30
18	2400	30	31
18	2400	30	30
18	2400	30	31
18	2400	30	31
18	2400	30	30
18	2400	30	31
18	2400	30	31
18	2400	30	30
18	2400	30	31

- **Experimento F**

Tabela6 - IFS=18; T.T = 2400; T.Q = 60B

Valor IFS (t.c)	Taxa de Transmissão (b.p.s)	Tamanho do Quadro (Bytes)	Tempo de recebimento de um Quadro (tc)
18	2400	60	42
18	2400	60	42
18	2400	60	42
18	2400	60	42
18	2400	60	42
18	2400	60	42
18	2400	60	42
18	2400	60	42
18	2400	60	42
18	2400	60	41

- **Experimento G**

Tabela7 - IFS=2; T.T = 2400; T.Q = 30B

Valor IFS (t.c)	Taxa de Transmissão (b.p.s)	Tamanho do Quadro (Bytes)	Tempo de recebimento de um Quadro (tc)
2	2400	30	14
2	2400	30	15
2	2400	30	15
2	2400	30	14
2	2400	30	14
2	2400	30	15
2	2400	30	14
2	2400	30	14
2	2400	30	14
2	2400	30	15

- **Experimento H**

Tabela8 - IFS=2; T.T = 2400; T.Q = 60B

Valor IFS (t.c)	Taxa de Transmissão (b.p.s)	Tamanho do Quadro (Bytes)	Tempo de recebimento de um Quadro (tc)
2	2400	60	26
2	2400	60	26
2	2400	60	26
2	2400	60	26
2	2400	60	26
2	2400	60	26
2	2400	60	25
2	2400	60	26
2	2400	60	26
2	2400	60	25

- **Experimento I**

Tabela9 - IFS=2; T.T = 4800; T.Q = 30B

Valor IFS (t.c)	Taxa de Transmissão (b.p.s)	Tamanho do Quadro (Bytes)	Tempo de recebimento de um Quadro (tc)
2	4800	30	12
2	4800	30	12
2	4800	30	13
2	4800	30	12
2	4800	30	12
2	4800	30	12
2	4800	30	12
2	4800	30	13
2	4800	30	12
2	4800	30	12

- **Experimento J**

Tabela10 - IFS=2; T.T = 4800; T.Q = 60B

Valor IFS (t.c)	Taxa de Transmissão (b.p.s)	Tamanho do Quadro (Bytes)	Tempo de recebimento de um Quadro (tc)
2	4800	60	21
2	4800	60	20
2	4800	60	20
2	4800	60	21
2	4800	60	20
2	4800	60	21
2	4800	60	22
2	4800	60	22
2	4800	60	21
2	4800	60	20

- **Experimento L**

Tabela11 - IFS=18; T.T = 4800; T.Q = 30B

Valor IFS (t.c)	Taxa de Transmissão (b.p.s)	Tamanho do Quadro (Bytes)	Tempo de recebimento de um Quadro (tc)
18	4800	30	27
18	4800	30	28
18	4800	30	29
18	4800	30	28
18	4800	30	28
18	4800	30	28
18	4800	30	28
18	4800	30	28
18	4800	30	29
18	4800	30	27

- **Experimento M**

Tabela12 - IFS=18; T.T = 4800; T.Q = 60B

Valor IFS (t.c)	Taxa de Transmissão (b.p.s)	Tamanho do Quadro (Bytes)	Tempo de recebimento de um Quadro (tc)
18	4800	60	36
18	4800	60	36
18	4800	60	37
18	4800	60	36
18	4800	60	37
18	4800	60	37
18	4800	60	36
18	4800	60	36
18	4800	60	36
18	4800	60	37

3.3 - Como foram Realizadas as Experimentações

3.3.1 - Níveis do IFS (IFS)

A variação de IFS foi realizada através da alteração no valor declarado pela diretiva (#define) no programa.

```
#define IFS 2
#define IFS 18
```

3.3.2 - Taxa de Transmissão (T.T)

A taxa de transmissão do meio foi definida pela rotina abaixo:

```
bioscom(0,0xC3,port);
```

O segundo valor a ser passado para a função bioscom define a taxa de transferência do meio. Foram utilizados os valores da tabela abaixo:

Tabela13 - Taxas de Transmissão

Parâmetro	Velocidade (bps)
0xA3	2400
0xC3	4800
0xE3	9600

3.3.3 - Tamanho do Quadro (T.Q)

Foram definidos dois tamanhos de quadros ilustrados abaixo:

```
unsigned char quadros[][MAX_QUADRO]= {
     "Este e' um programa em teste, enviando um GRANDE quadro...60",
     "Este e' um programa em teste30",
     };
```

O usuário seleciona o tipo de quadro a ser enviado através de linhas de código que fornecem opções de escolha, conforme mostra o código abaixo:

```
void desenha_janela_superior()
{
     cputs("1..6 - Envia quadros de tamanhos diversos\r\n");
     cputs("7..9 - Escolhe destinatario da mensagem (7-> maq.0,
     8-> maq.1) ";
     cputs("B    - Destino e' broadcast\r\n");
}
```

3.3.4 - Tempo de recebimento de um Quadro (tc)

Para que fosse calculado o tempo que um quadro leva para ser recebido, foram incluídas duas variáveis (t_ini e t_fin) que armazenam o instante de chegada do primeiro byte do quadro (no estado ENVIA e RECEBE) e o instante de recebimento do último byte do quadro (no estado FECHA QUADRO), respectivamente.

```
case ENVIA:
     if(n_buffer_receiving==0)
            t_ini = clock();  /*  Calcula  o  instante  inicial  da
chegada do 1 byte */

case RECEBE:
     /* le um byte e coloca no buffer em recepcao */
     if(n_buffer_receiving==0)
         t_ini = clock();     /*  Calcula  o  instante  inicial  da
chegada do 1 byte */

case FECHA_QUADRO:
     t_fin = clock() - t_ini; /* Calcula o instante final do ultimo
byte recebido */
     printf("\nInstante Recebimento do Quadro---->%ld\n",t_fin);
     l_data_receiving=0; /* recebemos o ultimo byte do quadro    */
     fecha_quadro(FCS);  /* fechamos o quadro                    */
```

```
estado=INICIO;      /* voltamos para o estado inicial
```

3.4 - Análise dos Dados das Experimentações

Após a coleta dos dados, verifica-se a necessidade de identificar:

1- Existe evidência que a variação dos fatores afeta a performance geral do sistema?

2- Verificar a aplicabilidade da Hipótese Nula, ou seja, será que os valores obtidos entre as médias intra-tratamentos e entre-tratamentos são estatisticamente relevantes?

3- Qual o intervalo de Confiança dos resultados obtidos?

Essencialmente, esta análise permitirá determinar se a discrepância entre as médias dos tratamentos são maiores do que poderiam ser razoavelmente esperadas.

3.4.1 - Variação Intra-Tratamentos

A variação intra-tratamentos objetiva identificar a consistência dos dados obtidos experimentalmente para um determinado tratamento. Será realizada utilizando todos os experimentos obtidos na seção 3.3.

Tabela14 - Freqüência dos valores obtidos pelas diferentes experimentações

	EXPERIMENTAÇÃO											
	A	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**I**	**J**	**L**	**M**
	10 (5)	18 (2)	26 (6)	35 (6)	30 (4)	41 (1)	14 (6)	25 (2)	12 (8)	20 (4)	27 (2)	36 (5)
	11 (5)	19 (5)	27 (4)	36 (2)	31 (6)	42 (9)	15 (4)	26 (8)	13 (2)	21 (4)	28 (6)	37 (5)
		20 (3)		37 (2)						22 (2)	29 (2)	
y_t	10.5	19.1	26.4	35.6	30.6	41.9	14.4	25.8	12.2	20.8	28	36.4
y_g	25.1											

onde:

- y_t - representa a média de cada experimento;
- y_g - representa a média global de todos os experimentos.

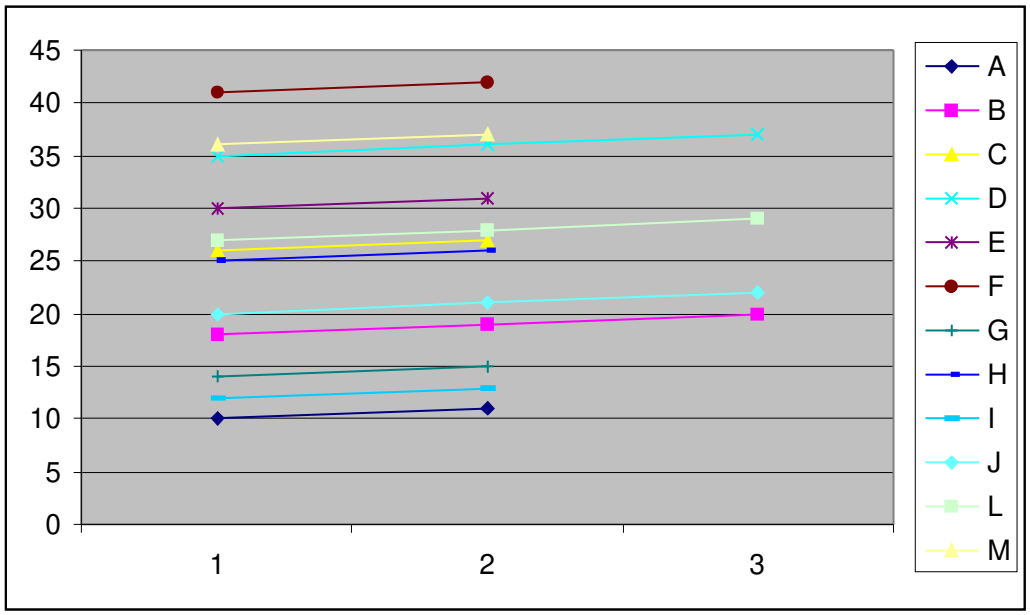

Figura 3 - Diagrama de Pontos dos Valores representativos para cada tratamento

- **Experimento A**

  Número de observações - 10

  Soma dos quadrados dos desvios em relação a Média (Sa) – 2.5

  Graus de Liberdade - 9

- **Experimento B**

  Número de observações - 10

  Soma dos quadrados dos desvios em relação a Média (Sb) – 4.9

  Graus de Liberdade – 9

- **Experimento C**

  Número de observações - 10

  Soma dos quadrados dos desvios em relação a Média (Sc) – 2.4

  Graus de Liberdade – 9

- **Experimento D**

  Número de observações - 10

  Soma dos quadrados dos desvios em relação a Média (Sd) - 6.1

  Graus de Liberdade - 9

- **Experimento E**

  Número de observações - 10

  Soma dos quadrados dos desvios em relação a Média (Se) - 2.4

  Graus de Liberdade - 9

- **Experimento F**

  Número de observações - 10

  Soma dos quadrados dos desvios em relação a Média (Sf) – 0.9

  Graus de Liberdade - 9

- **Experimento G**

  Número de observações - 10

  Soma dos quadrados dos desvios em relação a Média (Sg) – 2.4

  Graus de Liberdade - 9

- **Experimento H**

  Número de observações - 10

  Soma dos quadrados dos desvios em relação a Média (Sh) – 1.6

  Graus de Liberdade - 9

- **Experimento I**

  Número de observações - 10

  Soma dos quadrados dos desvios em relação a Média (Si) – 1.6

  Graus de Liberdade - 9

- **Experimento J**

  Número de observações - 10

  Soma dos quadrados dos desvios em relação a Média (Sj) – 5.6

  Graus de Liberdade - 9

- **Experimento L**

  Número de observações - 10

  Soma dos quadrados dos desvios em relação a Média (Si) – 4.0

  Graus de Liberdade - 9

- **Experimento M**

  Número de observações - 10

  Soma dos quadrados dos desvios em relação a Média (Sm) – 2.4

  Graus de Liberdade - 9

Em geral, após a obtenção das variâncias para todos os experimentos, estas devem ser combinadas para o cálculo da "média quadrada intra-tratamentos". Neste estudo, termos que calcular:

- Sr (somatório de todos os S (individuais)) = 36.8;
- vr (Somatório de todos os Graus de Liberdade (individuais) = 108.

Então a média dos quadrados será:

$$s^2_r = \frac{Sr}{vr} = 36.8 / 108 = 0.344$$

Este valor 0,344 informa uma estimativa de variância de erro intrínseca a experimentos intra-tratamentos.

3.4.2 - Variação Entre-Tratamentos

A variação entre-tratamentos é uma segunda estimativa que determina a variação entre as médias dos tratamentos e a média global, objetivando identificar se existem diferenças entre os experimentos.

Tabela15 - Cálculo das médias quadradas entre tratamentos

EXPERIMENTAÇÃO												
	A	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**I**	**J**	**L**	**M**
y_t	10.5	19.1	26.4	35.6	30.6	41.9	14.4	25.8	12.2	20.8	28	36.5
$y_t - y_g$	-14.6	-6	1.3	10.5	5.5	16.8	-11	0.7	-12.9	-4.3	2.9	11.4
Nt	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

onde:

- $y_t - y_g$ - representa a diferença entre a média e a média de cada experimento.
- nt - representa o número de observações

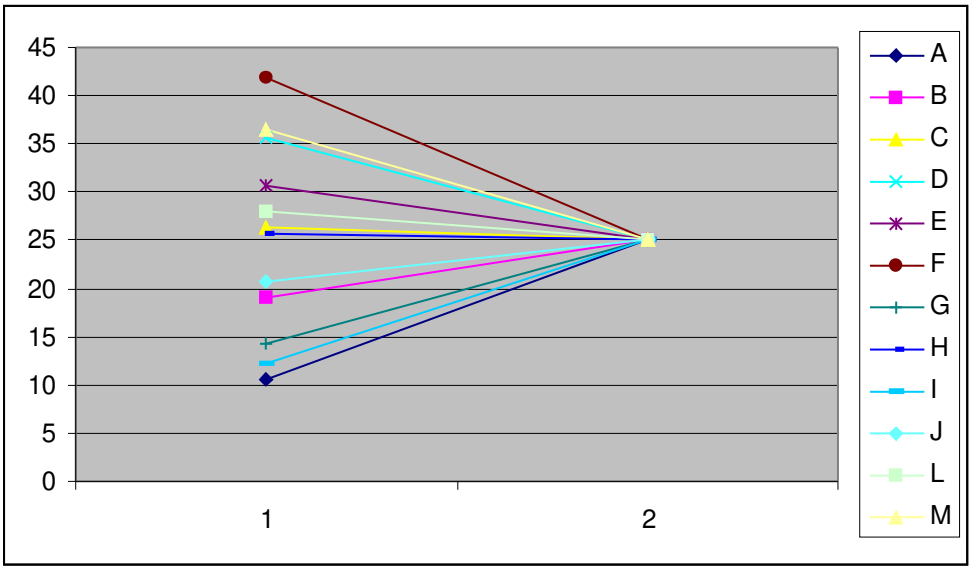

Figura 4 - Diagrama de Pontos dos Valores representativos para cada tratamento em relação a média global

Após a obtenção das diferenças para todos os experimentos, estas devem ser combinadas para o cálculo da "média quadrada entre-tratamentos". Neste estudo, termos que calcular:

- St (somatório de todos os S (individuais)) = 11118.4;

- vt (Somatório de todos os Graus de Liberdade (individuais) = 12 - 1 = 11.

Então a média dos quadrados será:

$$s^2t = \frac{St}{vt} = 11118.4 / 11 = 1010.8.$$

Este valor 1010.8 informa uma estimativa de variância de erro intrínseca a experimentos entre-tratamentos.

3.4.3 - Comparação entre Estimativas Intra e Entre Tratamentos

Agora vamos verificar se a Hipótese Nula é aplicada entre as estimativas intra-tratamentos e entre-tratamentos. Pelos valores obtidos ($s^2_r = \frac{Sr}{vr} = 0.344$ e $s^2t = \frac{St}{vt} = 1010.8$) verificamos que a estimativa (s^2t) entre-tratamentos é muito maior do que a estimativa (s^2_r) intra-tratamentos. Consequentemente, somos levados a suspeitar que a Hipótese Nula não é aplicada e que alguma destas variações devem ser causadas por reais diferenças entre os tratamentos.

3.4.4 - Verificação da Hipótese Nula

As dez observações realizadas em cada experimento forma feitas de maneira aleatória, ou seja, cada experimentação é estatisticamente independente e possui uma distribuição de probabilidade. Portanto, será assumido que a relação (s^2t / s^2_r =32320.93) será representada por uma distribuição F com 11 e 108 graus de liberdade, respectivamente.

Então foi calculado o nível de significância dos valores obtidos e verificar se a Hipótese Nula pode ser aplicada ou rejeitada.

Tabela16 - Intervalos de Confiância para cada valor de α

α	1- α	Valores obtidos em % (para nt=11 e nr=108)

10%	90%	1.56
5%	95%	1.77
1%	99%	2.22

onde (1- α) é o intervalo de confiância.

A probabilidade de que exista um ponto mais à direita da curva F em relação a (s^2t / s^2_r =32320.93) é de 1.6724E-184, verificando-se que a Hipótese Nula não é válida. Pode-se concluir que os fatores estudados durante o trabalho afetam a performance geral do sistema e que as variações obtidas entre os experimentos foram causadas por reais diferenças entre os tratamentos.

4

MODELAGEM DO SISTEMA EM ESTUDO

4.1 - Definição de um Modelo Matemático

Tendo sido verificado que as diferenças entre os tratamentos é causada pela variação dos três fatores envolvidos na experimentação, torna-se necessário determinar como cada fator da função $Y = f(IFS, TT, TQ)$. afeta o desempenho do sistema de comunicação em estudo.

Antes de ser feita qualquer suposição de como estes fatores influenciam na métrica principal do sistema, é fundamental identificar a relação entre cada fator e a métrica em estudo. As Figuras abaixo ilustram a relação entre cada um dos fatores estudados e a métrica utilizada.

Os valores apresentados foram obtidos das 12 observações realizadas.

- Tamanho do Quadro x Tempo de Recebimento do Quadro

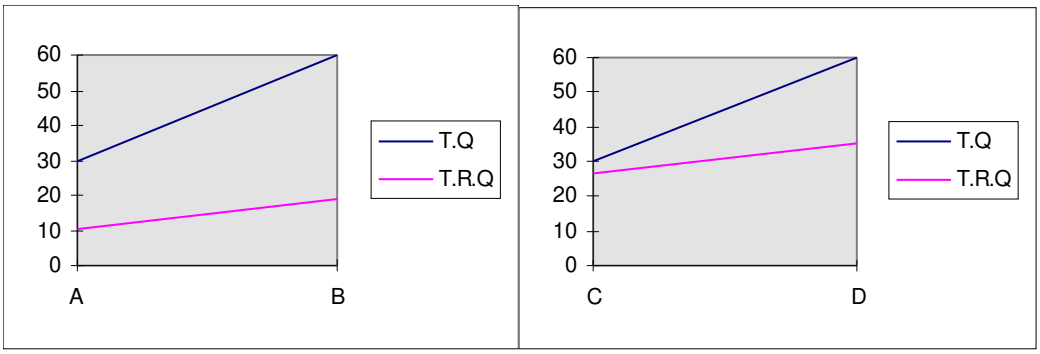

Figura 5 - Relação Linear entre TQ e TRQ

Estes gráficos foram calculados agrupando-se os experimentos que possuíam as mesmas características, isto é, IFS e T.T iguais. Os valores de T.Q variaram.

Pode-se observar que a relação entre T.Q e T.R.Q é linear e diretamente proporcional, ou seja, quando se aumenta o Tamanho do Quadro o Tempo de Recebimento do Quadro também aumenta.

- Taxa de Transmissão x Tempo de Recebimento do Quadro

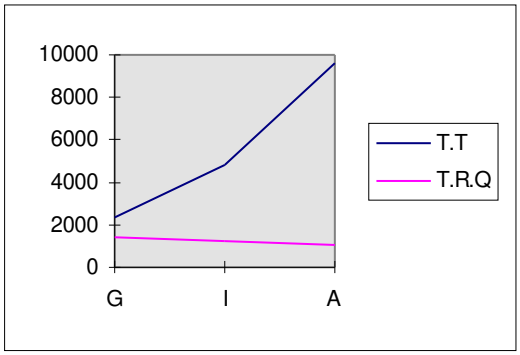

Figura 6 - Relação Linear entre TT e TRQ

Este gráfico foi calculado agrupando-se os experimentos que possuíam as mesmas características, isto é, T.Q e IFS iguais. Os valores de T.T variaram.

Pode-se observar que a relação entre T.T e T.R.Q é linear e inversamente proporcional, ou seja, quando se aumenta a Taxa de Transmissão o Tempo de Recebimento do Quadro diminui.

- IFS x Tempo de Recebimento do Quadro

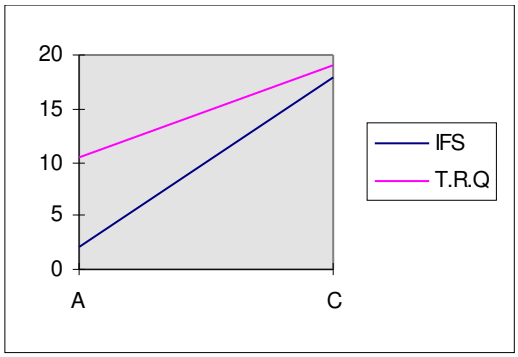

Figura 7 - Relação Linear entre IFS e TRQ

Este gráfico foi calculado agrupando-se os experimentos que possuíam as mesmas características, isto é, T.Q e T.T iguais. Os valores de IFS variaram.

Pode-se observar que a relação entre T.Q e T.T é linear e diretamente proporcional, ou seja, quando se aumenta a Taxa de Transmissão o Tempo de Recebimento do Quadro diminui.

O principal objetivo é identificar como cada fator afeta na métrica em estudo. Sabendo-se que os três fatores da função $Y = f(IFS, TT, TQ)$. variam de maneira linear, busca-se um modelo matemático que forneça uma função Y cuja os valores esperados sejam semelhantes aos valores obtidos na prática. Graficamente, poderia ser conceituado como sendo a menor distância entre a linha obtida pelo modelo e os pontos observados.

Neste estudo utilizou-se o modelo de regressão linear múltipla, considerando que os fatores não são colineares (são independentes entre si), objetivando encontrar o melhor modelo linear que represente o comportamento das variáveis envolvidas neste estudo.

O modelo idealizado está descrito abaixo:

$$y = b_o + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + \varepsilon$$

onde:

y → Métrica a ser medida. Neste estudo Tempo de Recebimento do Quadro;

b_0, b_1, b_2 e b_3 → Parâmetros de regressão fixos (a serem calculados);

x_1 → Fator IFS, com dois níveis;

x_2 → Fator Taxa de Transmissão, com dois níveis;

x_3 → Fator Tamanho do Quadro, com níveis;

ε → Erro experimental.

Das variáveis representativas do nosso modelo não temos os valores dos parâmetros (b_0, b_1, b_2, b_3) e do erro (ε). Então eles deverão ser calculados.

Para cada observação realizada teremos valores para a equação idealizada. Neste estudo serão 120 equações. Estas equações serão representadas através da notação vetorial o que simplifica o cálculo dos parâmetros (b_0, b_1, b_2, b_3) e do erro (ε).

4.2 - Estimativas dos Parâmetros da Equação através da Notação Vetorial

Para cada observação teremos:

$$10 = b_o + b_1 2 + b_2 9600 + b_3 30 + \varepsilon_1$$

$$11 = b_o + b_1 2 + b_2 9600 + b_3 30 + \varepsilon_2$$

:

:

$$37 = b_o + b_1 18 + b_2 4800 + b_3 30 + \varepsilon_{120}$$

Usando a notação vetorial teremos:

$$\begin{vmatrix} 10 \\ 11 \\ . \\ . \\ 37 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 9600 & 30 \\ 1 & 2 & 9600 & 30 \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ 1 & 18 & 4800 & 30 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} b0 \\ b1 \\ . \\ . \\ b120 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} e1 \\ e2 \\ . \\ . \\ e120 \end{vmatrix}$$

ou

y = Xb + e, onde:

y → Matriz de uma coluna que representa os cento e vinte valores observados de y (Tempo de Recebimento do Quadro);

X → Matriz de quatro colunas que representa os valores observados dos fatores (T.T, T.Q e IFS);

b → Matriz de uma coluna que representa os parâmetros b_0, b_1, b_2 e b_3;

e →Matriz de uma coluna que representa os erros experimentais.

Os valores de y e X são conhecidos. Então a partir deles serão obtidos os valores de b e e.

4.2.1 - Cálculo do Valor de b

Para o cálculo de b (parâmetros b_0, b_1, b_2 e b_3) será necessário o cálculo da seguinte expressão:

$$b = (X^T X)^{-1}(X^T y)$$

1º Passo: Calcular X e X^T [4]

2° Passo: Calcular a multiplicação das matrizes X^T e X

Tabela17 - MULTIPLICAÇÃO DA MATRIZ TRANSPOSTA XT POR X

120	1200	672000	5400
1200	19680	6720000	54000
672000	6720000	4838400000	30240000
5400	54000	30240000	270000

3º Passo: Calcular a matriz inversa da matriz obtida anteriormente

Tabela18 - MATRIZ INVERSA

1.2552083E-01	-1.3020833E-03	-5.2083333E-06	-1.6666667E-03
-1.3020833E-03	1.3020833E-04	2.6433882E-22	0.0000000E+00
-5.2083333E-06	-1.1748392E-22	9.3005952E-10	1.8822954E-23
-1.6666667E-03	0.0000000E+00	-2.9370979E-23	3.7037037E-05

4° Passo: Calcular a multiplicação das matrizes X^T e y

Tabela19 - TRANSPOSTA XT x Y

3014
37804
16144800
141690

[4] Como a representação da matriz X e sua transposta é muito grande, não incluímos neste trabalho.

5º Passo: Calcular a multiplicação da matriz do 3º Passo com a matriz do 4º Passo

Tabela20 - INVERSA x TRANSPOSTA

8.85833
0.99792
-0.00068
0.22444

Os parâmetros obtidos para a equação em estudo são:

- $b_0 \rightarrow 8,85833$
- $b_1 \rightarrow 0,99792$
- $b_2 \rightarrow -0,00068$
- $b_3 \rightarrow 0,22444$

A equação para o nosso sistema em estudo está representada abaixo.

$$y = 8,85833 + 0,99792x_1 - 0,00068x_2 + 0,22444x_3 + \varepsilon$$

Isto significa que com os valores obtidos dos parâmetros, podemos calcular os erros experimentais.

4.2.2 - Cálculo do Valor de ε

Para o cálculo de ε (erros experimentais) utilizaremos a seguinte expressão:

$$\varepsilon = y_{\exp erimental} - y_{calculado}$$

Foi calculado uma Tabela[5] , onde estão listados os valores medidos, os valores calculados pelo modelo, os erros e os erros quadrados.

[5] A Tabela está no Apêndice A.

4.3 - Alocação de Variação

O principal propósito de um modelo de regressão é poder determinar, com uma variação muito pequena, o comportamento da(s) variável(eis) em estudo para diversas situações. Para tanto, é fundamental compreender como os erros experimentais afetam na variabilidade da(s) variável(eis) analisadas.

Os principais parâmetros utilizados para o cálculo da variabilidade são: **SSE** (*Sum of Squared Erros*), **SSY** (*Sum of Squares of y*), **SS0** (*Sum of Squares of medium y*), **SST**(*Total Sum of Squares*), **SSR** (*Sum of Squares explainde by regression*), $\mathbf{R^2}$(*Coefficient of Determination*) e **R** (*Coefficient of multiple correlation*).

Analisaremos cada um destes parâmetros para os valores obtidos experimentalmente e identificaremos se o modelo de regressão adotado é confiável, isto é, a variabilidade entre os valores obtidos experimentalmente e os valores obtidos analiticamente são aceitáveis.

4.3.1 - SSE

O valor de SSE pode ser calculado pela expressão $SSE = \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2$. Baseado na Tabela em anexo, foi obtido o seguinte valor:

SSE = 1561.696

O SSE representa a variação que não foi explicada pela regressão.

4.3.2 - SSY

O valor de SSY pode ser calculado pela expressão $SSY = \sum_{i=1}^{n} y_i^2$. Baseado na Tabela em anexo, foi obtido o seguinte valor:

SSY = 86772

4.3.3 - SS0

O valor de SS0 pode ser calculado pela expressão $SS\,0 = n\bar{y}^2$. Baseado na Tabela em anexo, foi obtido o seguinte valor:

SS0 = 75701.63

4.3.4 - SST

O valor de SST pode ser calculado pela expressão $SST = SSY - SS0$. Baseado nos valores obtidos anteriormente, temos:

SST = 11070.37

4.3.5 - SSR

O valor de SSR pode ser calculado pela expressão $SSR = SSY - SSE$. Baseado nos valores obtidos anteriormente, temos:

SSR = 9508.671

O SSR representa a variação que foi explicada pela regressão.

4.3.6 - R^2

O valor de R^2 pode ser calculado pela expressão $R^2 = SSR / SST$. O valor obtido para R^2 neste experimento foi:

R^2 = 0.859

O Coeficiente de Determinação representa a fração da variação que foi explicada e determina o quão bom é um modelo de regressão. Quanto mais se aproximar de 1 melhor o modelo de regressão e quanto mais se aproximar de 0 pior o modelo de regressão. Neste estudo, o modelo de regressão adotado explica **86 %** da variação de Y (Tempo de Recebimento do Quadro), indicando que o modelo de regressão adotado é válido.

4.3.7 - R

O valor de R pode ser calculado pela raiz quadrada de R^2. O valor obtido para R neste experimento foi:

R = 0.927

4.4 - Desvios Padrões dos Erros

Para calcular a variância dos erros, é necessário que o valor SSE obtido seja dividido pelos graus de liberdade, que são n - x (no nosso estudo será x=4 e n=120). A variação estimada pode ser calculada pela seguinte expressão: $s_e^2 = SSE / n - x$

A quantidade $SSE / n - x$ é chamada de **MSE** (*Mean Squared Error*). O desvio padrão dos erros é simplesmente a raiz quadrada de MSE. Então $s_e = \sqrt{MSE}$.

Valores obtidos:

MSE = 13.463
Se = 3.669

Um dos requisitos fundamentais para a definição de um bom modelo de regressão é que o fator R^2 seja próximo de 1 (já foi obtido) e que a soma dos erros seja próxima de zero, isto é, os valores dos erros positivos tendem a ser cancelados pelos valores dos erros negativos.

Neste estudo a soma dos erros foi:

Soma dos Erros = -1.520

4.5 - Intervalos de Confiança

Após a obtenção dos valores dos parâmetros (b_0, b_1, b_2 e b_3), torna-se necessário verificar até que ponto estes valores são confiáveis. Este argumento baseai-se no fato de que os valores obtidos são referentes a uma dada amostragem aleatória de tamanho n (neste estudo n =120). Entretanto, utilizando-se outras amostragens as estimativas dos parâmetros (b_0, b_1, b_2 e b_3) tendem a ser diferentes. Então torna-se necessário identificar qual a correspondência entre os valores obtidos para a amostra em estudo com os valores reais, ou seja, qual o intervalo de confiança existente para os valores obtidos neste estudo.

4.6 - Intervalos de Confiança para os Parâmetros b0, b1, b2 e b3

Antes de calcularmos os intervalos de confiança, temos que calcular os desvios padrões estimados para cada parâmetro:

- Desvio Padrão Estimado de b_0 é representado pela seguinte expressão: $sb_0 = s_e \sqrt{c_{00}}$, onde: s_e (desvio padrão dos erros) e c_{00} (valor na posição (00) na matriz inversa).

Obtido:

Sb_o = 1.3000

- Desvio Padrão Estimado de b_1 - $sb_1 = s_e \sqrt{c_{11}}$

Obtido:

Sb_1= 0.0419

- Desvio Padrão Estimado de b_2 - $sb_2 = s_e \sqrt{c_{22}}$

Obtido:

Sb_2= 0.0001

- Desvio Padrão Estimado de b_3 - $sb_3 = s_e \sqrt{c_{33}}$

Obtido:

Sb_3= 0.0223

Tendo sido obtido os desvios padrões dos parâmetros calculados, verifica-se para um determinado intervalo de confiança (nesta análise - 90%) qual a variação que estes parâmetros podem ter.

Uma medida de dispersão muito utilizada é a quantile. Utilizamos a medida de 0,95-quantile para os dados amostrais obtidos. Como o grau de liberdade da nossa amostragem é 116, o valor de t_{value} para 116 graus de liberdade e com nível de confiança igual a 90% é:

$t_{[0.95,116]} = t_{[0.95,120]} = 1{,}658.$

Este valor foi obtido da Tabela de valores da distribuição t.

Os intervalos de confiança para os parâmetros de regressão calculados são:

- $b_0 \rightarrow$ (8.85833 +/- (1.658)(1.30)) = (8.85855 +/- 2.1553) = **(6.703, 11.014)**
- $b_1 \rightarrow$ (0.99792 +/- (1.658)(0.0419)) = (0.99792 +/- 0.0694) = **(0.929, 1.067)**
- $b_2 \rightarrow$ (-0.00068 +/- (1.658)(0.0001)) = (-0.00068 +/- 0.0002) = **(-0.0005, -0.0009)**
- $b_3 \rightarrow$ (0.22444 +/- (1.658)(0.0223)) = (0.22444 +/- 0.037) = **(0.187, 0.261)**

Os parâmetros calculados são significantes quando o intervalo de confiança for de 90%.

4.7 - Análise das Variâncias

Deseja-se identificar o nível de significância para cada um dos valores obtidos, isto é, até que ponto os valores obtidos expressam o comportamento real do sistema. Existe uma metodologia conhecida como ANOVA (*Analisys of Variance*) que permite verificar a significância dos parâmetros calculados.

O principal objetivo da montagem da tabela ANOVA consiste em verificar se a hipótese SSR <= SSE é rejeitada para um nível de significância α, ou seja, se a variação que foi explicada pelo modelo de regressão é menor ou igual a variação que não foi explicada pela regressão. Neste caso, este modelo seria inapropriado.

Para verificar se um modelo é significativo ou não, é necessário testar a significância dos parâmetros utilizados. Este verificação é realizada através do teste F (*Ftest*). O teste F verifica se os fatores MSE e MSR, conhecidos como médias quadradas, onde ($MSE = \frac{SSE}{ne}; MSR = \frac{SSR}{nr}$) tem uma distribuição F, tal que, se F calculado for maior que F tabelado, então o modelo adotado é significatrivo.

Tabela21 - Tabela ANOVA para o experimento em estudo

Componentes	Soma Quad.	% de Var.	Graus Lib.	Média Quad.	F Calculado
y	86772				
ym	75701.633				
y-ym	11070.367		119		
Regressão	9508.671	86%	3	3169.557	235.429
Erros	1561.696	14%	116	13.463	

Tabela22 - F tabelado calculado para três níveis de confiança

α	1- α	F tabelado (para n=3 e m=500)
10%	90%	2.09
5%	95%	2.62
1%	99%	3.82

Pelos dados obtidos das Tabelas acima, podemos concluir que o modelo utilizado para representar este experimento é significativo a um grau de 99%, pois:

$235.429 >> 3.82 \Rightarrow Fcalculado >> Ftabelado$

4.8 - Interpretação e Análise dos Resultados

Para os parâmetros do modelo de regressão obtido, podemos concluir:

Tabela23 - Valores dos Parâmetros do Sistema

Componentes	Valores
b_0	8.85833
b_1	0.99792
b_2	0.00068
b_3	0.22444

- O tempo médio de recebimento de um quadro é 8.85 tc (0.486 s);
- Este tempo é afetado principalmente pelo tamanho de IFS, em +/- 0.997 tc (0,0548s);
- A taxa de transmissão é responsável somente por uma variação de +/- 0.00068 tc (0,00037s);
- O tamanho do quadro é responsável por uma variação de +/- 0.22444 tc (0.0123s).

Pode-se concluir que o principal parâmetro que afeta este sistema de comunicação é o IFS. Isto é devido a este sistema de comunicação possuir velocidade de transmissão muito baixa (entre 2400 e 9600 bps - o que acaba não influenciando muito no tempo de resposta) e possuir quadros de tamanhos muito pequenos (30 e 60 bytes). Então o parâmetro que "regula" o acesso ao meio de transmissão (IFS) acaba sobrepondo os outros parâmetros.

5

VERIFICAÇÃO DA VALIDADE DO MODELO DE REGRESSÃO

5.1- Argumentos que verificam a Aderência do Modelo

O estudo realizado considerou alguns argumentos como sendo verdadeiros, pois simplificaram o cálculo e a análise dos resultados. Então, deseja-se verificar a validade destas assertivas para confirmar a validade do modelo de regressão adotado.

Foram consideradas 4 assertivas como sendo verdadeiras. São elas:

- A Relação entre a métrica em estudo (Y) e as variáveis fatores (x) é linear;
- Os erros são independentes;
- Os erros estão normalmente distribuídos;
- O desvio padrão dos erros é constante.

5.1.1- Relação Linear

Na seção 4.1 verificamos que a relação entre todos os parâmetros é linear. Então o modelo de regressão linear se adequa ao estudo realizado.

5.1.2 - Os Erros são Independentes

Os erros obtidos foram plotados com os valores de Y. A figura8 ilustra a relação entre Erros e Y.

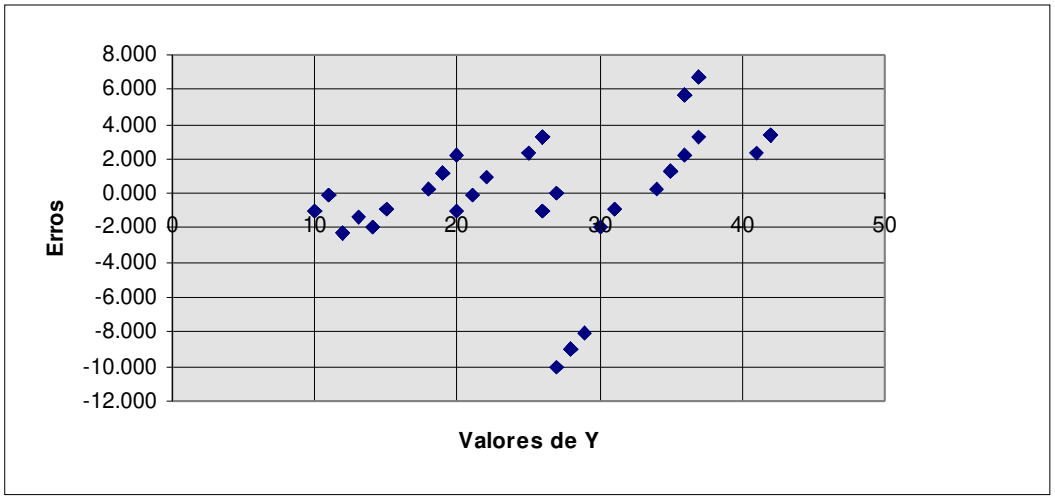

Figura 8 - Erros versus Valores Estimados de Y

De acordo com a Figura 8 podemos verificar que não existe nenhuma tendência dos erros e nenhum ponto de *clusttering*, ou seja, os erros são independentes dos valores de Y. Concluímos então, que a característica de independência de erros é verificada.

Este teste realizado confirma a aderência do modelo.

5.1.3 - Os Erros estão Normalmente Distribuídos

De acordo com a Figura 9 podemos verificar que o crescimento dos erros residuais (y - ym) é aproximadamente linear, isto é, o argumento de que os erros estão normalmente distribuídos é válida.

Este teste realizado confirma a aderência do modelo.

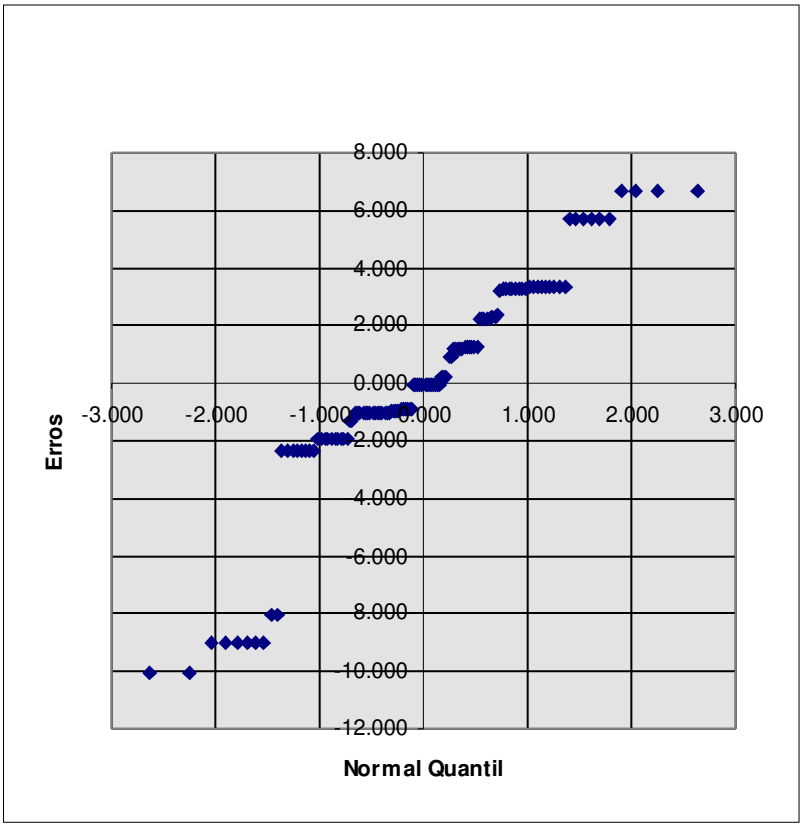

Figura 9 - Erros versus Normal Quantil

5.1.4 - O Desvio Padrão dos Erros é constante

Este teste verifica se os valores plotados na figura 8 (para verificação da independência dos erros) possuem alguma tendência de distribuição. Isto é, se a distribuição dos pontos em um extremo do grafo forem muito diferentes do outro extremo do grafo, então esta argumentação não é válida.

Percebe-se que a distribuição para os valores iniciais de Y não é muito diferente para os valores finais de Y. Então o desvio padrão dos erros é constante. Este teste realizado confirma a aderência do modelo.

6

CONCLUSÃO

A modelagem de qualquer sistema não é 100% eficiente, por mais meticulosa que seja a análise estatística realizada. Isto deve-se ao fato de existirem fatores que afetam o funcionamento do sistema porém são imperceptíveis em uma análise de modelagem estatística. Então deve-se sempre obter um modelo o mais próximo do real e estimar o quão próximo ele é.

Este trabalho identificou os principais fatores que influenciam no desempenho de um simples sistema de comunicação. Desempenho este medido somente por uma métrica (tempo de recebimento de um quadro), considerada a mais significativa. Este modelo explicou 86% da variação de desempenho do sistema em estudo. É importante ressaltar que foram utilizados três parâmetros com diversos níveis e realizados cento e vinte observações, com o objetivo de expressar um modelo cujo funcionamento fosse o mais próximo do real. Mesmo assim, 14% de variação no desempenho do sistema não foram explicados. Isto deve-se ao fato de que diversos fatores não computados são irrelevantes individualmente, porém possuem alguma relevância quando atuam em conjunto. Identificá-los é uma tarefa árdua, custosa e possivelmente injustificada para a maioria das situações, onde o que se deseja são tomadas de decisões rápidas baseadas em modelos com alguma significância.

Obtidos os resultados finais, o que mais surpreendeu é que o principal parâmetro que afeta diretamente na métrica é um fator determinado “manualmente”. Dos três fatores utilizados (Espaço entre o envio de quadros - IFS, tempo de transmissão -TT e tamanho do quadro -TQ) o mais “relevante” é o IFS. Isto significa que grande parte da performance é determinada por um fator escolhido por “sentimento” sem nenhuma análise prévia. Então, pode-se concluir que a modelagem e a identificação do(s) principal(is) fator(es) que afetam o funcionamento de um sistema é a tarefa mais acertada quando se deseja melhorar o desempenho global do sistema. “Sentimentos” para decidir, em vez de melhorar o funcionamento, podem causar grandes problemas.

7

BIBLIOGRAFIA

1. R. Jain, “The Art of Computer Systems Performance analisis: Techniques for Experimental Design, Measurement, simulation and Modeling”, Wiley, 1991.

2. G. Box, W. Hunter, and J. Hunter. “Statistics for Experiments”, Wiley, 1978.

3. Moreira, Marcelo. Disponível em http:/www-di.inf.puc-rio.br/~celso/trabalho-1/ e /trabalho-2/.

APÊNDICE A

N. obs	Y	IFS	TT	TQ	Tempo Y estimado	Erro	Erro quadrado
1	10	2	9600	30	11.059	-1.059	1.122
2	11	2	9600	30	11.059	-0.059	0.004
3	10	2	9600	30	11.059	-1.059	1.122
4	11	2	9600	30	11.059	-0.059	0.004
5	10	2	9600	30	11.059	-1.059	1.122
6	11	2	9600	30	11.059	-0.059	0.004
7	11	2	9600	30	11.059	-0.059	0.004
8	10	2	9600	30	11.059	-1.059	1.122
9	10	2	9600	30	11.059	-1.059	1.122
10	11	2	9600	30	11.059	-0.059	0.004
11	19	2	9600	60	17.793	1.207	1.458
12	19	2	9600	60	17.793	1.207	1.458
13	20	2	9600	60	17.793	2.207	4.873
14	18	2	9600	60	17.793	0.207	0.043
15	19	2	9600	60	17.793	1.207	1.458
16	18	2	9600	60	17.793	0.207	0.043
17	20	2	9600	60	17.793	2.207	4.873
18	19	2	9600	60	17.793	1.207	1.458
19	20	2	9600	60	17.793	2.207	4.873
20	19	2	9600	60	17.793	1.207	1.458
21	26	18	9600	30	27.026	-1.026	1.053
22	26	18	9600	30	27.026	-1.026	1.053
23	26	18	9600	30	27.026	-1.026	1.053
24	26	18	9600	30	27.026	-1.026	1.053
25	26	18	9600	30	27.026	-1.026	1.053
26	27	18	9600	30	27.026	-0.026	0.001
27	26	18	9600	30	27.026	-1.026	1.053
28	27	18	9600	30	27.026	-0.026	0.001
29	27	18	9600	30	27.026	-0.026	0.001
30	27	18	9600	30	27.026	-0.026	0.001
31	35	18	9600	60	33.759	1.241	1.539
32	35	18	9600	60	33.759	1.241	1.539
33	35	18	9600	60	33.759	1.241	1.539
34	34	18	9600	60	33.759	0.241	0.058
35	35	18	9600	60	33.759	1.241	1.539
36	35	18	9600	60	33.759	1.241	1.539
37	36	18	9600	60	33.759	2.241	5.021
38	35	18	9600	60	33.759	1.241	1.539
39	36	18	9600	60	33.759	2.241	5.021
40	37	18	9600	60	33.759	3.241	10.502
41	30	18	2400	30	31.922	-1.922	3.694
42	31	18	2400	30	31.922	-0.922	0.850
43	30	18	2400	30	31.922	-1.922	3.694
44	31	18	2400	30	31.922	-0.922	0.850
45	31	18	2400	30	31.922	-0.922	0.850

46	30	18	2400	30	31.922	-1.922	3.694
47	31	18	2400	30	31.922	-0.922	0.850
48	31	18	2400	30	31.922	-0.922	0.850
49	30	18	2400	30	31.922	-1.922	3.694
50	31	18	2400	30	31.922	-0.922	0.850
51	42	18	2400	60	38.655	3.345	11.187
52	42	18	2400	60	38.655	3.345	11.187
53	42	18	2400	60	38.655	3.345	11.187
54	42	18	2400	60	38.655	3.345	11.187
55	42	18	2400	60	38.655	3.345	11.187
56	42	18	2400	60	38.655	3.345	11.187
57	42	18	2400	60	38.655	3.345	11.187
58	42	18	2400	60	38.655	3.345	11.187
59	42	18	2400	60	38.655	3.345	11.187
60	41	18	2400	60	38.655	2.345	5.498
61	14	2	2400	30	15.955	-1.955	3.823
62	15	2	2400	30	15.955	-0.955	0.913
63	15	2	2400	30	15.955	-0.955	0.913
64	14	2	2400	30	15.955	-1.955	3.823
65	14	2	2400	30	15.955	-1.955	3.823
66	15	2	2400	30	15.955	-0.955	0.913
67	14	2	2400	30	15.955	-1.955	3.823
68	14	2	2400	30	15.955	-1.955	3.823
69	14	2	2400	30	15.955	-1.955	3.823
70	15	2	2400	30	15.955	-0.955	0.913
71	26	2	2400	60	22.689	3.311	10.966
72	26	2	2400	60	22.689	3.311	10.966
73	26	2	2400	60	22.689	3.311	10.966
74	26	2	2400	60	22.689	3.311	10.966
75	26	2	2400	60	22.689	3.311	10.966
76	26	2	2400	60	22.689	3.311	10.966
77	25	2	2400	60	22.689	2.311	5.343
78	26	2	2400	60	22.689	3.311	10.966
79	26	2	2400	60	22.689	3.311	10.966
80	25	2	2400	60	22.689	2.311	5.343
81	12	2	4800	30	14.323	-2.323	5.398
82	12	2	4800	30	14.323	-2.323	5.398
83	13	2	4800	30	14.323	-1.323	1.751
84	12	2	4800	30	14.323	-2.323	5.398
85	12	2	4800	30	14.323	-2.323	5.398
86	12	2	4800	30	14.323	-2.323	5.398
87	12	2	4800	30	14.323	-2.323	5.398
88	13	2	4800	30	14.323	-1.323	1.751
89	12	2	4800	30	14.323	-2.323	5.398
90	12	2	4800	30	14.323	-2.323	5.398
91	21	2	4800	60	21.057	-0.057	0.003
92	20	2	4800	60	21.057	-1.057	1.116
93	20	2	4800	60	21.057	-1.057	1.116
94	21	2	4800	60	21.057	-0.057	0.003

95	20	2	4800	60	21.057	-1.057	1.116
96	21	2	4800	60	21.057	-0.057	0.003
97	22	2	4800	60	21.057	0.943	0.890
98	22	2	4800	60	21.057	0.943	0.890
99	21	2	4800	60	21.057	-0.057	0.003
100	20	2	4800	60	21.057	-1.057	1.116
101	36	18	4800	30	30.290	5.710	32.603
102	36	18	4800	30	30.290	5.710	32.603
103	37	18	4800	30	30.290	6.710	45.023
104	36	18	4800	30	30.290	5.710	32.603
105	37	18	4800	30	30.290	6.710	45.023
106	37	18	4800	30	30.290	6.710	45.023
107	36	18	4800	30	30.290	5.710	32.603
108	36	18	4800	30	30.290	5.710	32.603
109	36	18	4800	30	30.290	5.710	32.603
110	37	18	4800	30	30.290	6.710	45.023
111	27	18	4800	60	37.023	-10.023	100.466
112	28	18	4800	60	37.023	-9.023	81.420
113	29	18	4800	60	37.023	-8.023	64.373
114	28	18	4800	60	37.023	-9.023	81.420
115	28	18	4800	60	37.023	-9.023	81.420
116	28	18	4800	60	37.023	-9.023	81.420
117	28	18	4800	60	37.023	-9.023	81.420
118	28	18	4800	60	37.023	-9.023	81.420
119	29	18	4800	60	37.023	-8.023	64.373
120	27	18	4800	60	37.023	-10.023	100.466