



Centro Universitário de Brasília – UniCEUB  
Faculdade de Ciências Exatas e de Tecnologia – FAET  
Engenharia da Computação

# **TRANSMISSÃO SEM FIO UTILIZANDO MICROCONTROLADORES DA FAMÍLIA PIC**

Autor: Túlio Canut Cunha – R.A.: 2016870/0

Orientadora: Prof<sup>a</sup> MC. Maria Marony Sousa Farias Nascimento

Brasília

2007

Túlio Canut Cunha

# **TRANSMISSÃO SEM FIO UTILIZANDO MICROCONTROLADORES DA FAMÍLIA PIC**

Projeto de Conclusão do Curso de  
Graduação

Engenharia da Computação do  
Centro Universitário de Brasília –  
UniCEUB

Orientadora: Prof<sup>a</sup> MC. Maria  
Marony Sousa Farias Nascimento

Brasília  
2007

## **Dedicatória**

Aos meus pais, Ronaldo e Solange, por promoverem a minha formação pessoal e acadêmica.

Aos meus irmãos Leandro e Ana Maria, por todo apoio.

# Agradecimentos

Aos meus pais Ronaldo e Solange, por todo investimento que fizeram desde o início dos meus estudos.

Aos meus irmãos Leandro e Ana Maria, por todo apoio durante todos esses anos.

À Fabíola por toda paciência e apoio aos meus estudos.

Às amigas Rayssa e Nívia, por me ajudarem a traduzir os textos em inglês que foram fundamentais para o sucesso desse projeto.

À professora Maria Marony, que me ajudou bastante na orientação desse projeto.

Ao professor Francisco Javier, por ajudar na orientação e execução do projeto.

Ao coordenador do Curso de Engenharia de Computação, professor Abiezer Amarília, por todo apoio e seriedade durante o período em que realizei minha graduação.

A todos os professores do curso de Engenharia de Computação, que foram todos fundamentais para minha formação acadêmica.

Aos meus amigos e amigas, que são muitos, por estarem sempre do meu lado em muitas etapas da minha vida.

# Resumo

Neste trabalho é apresentado um projeto de um sistema de comunicação sem fio, composto por duas bases de comunicação, ambas capazes de transmitir e receber dados entre si, sem a utilização de fios ou cabos. Cada base é controlada por um microcontrolador que está programado para gerenciar o sistema.

Por utilizar microcontroladores, este sistema é capaz realizar a comunicação entre vários tipos de equipamentos. O grande diferencial deste sistema de comunicação wireless, é que é possível realizar a comunicação wireless entre microcontroladores, sensores, conversores, ou qualquer outro dispositivo pequeno ou simples.

Palavras chaves: **Wireless, microcontroladores, radiofreqüência.**

# Sumário

Capítulo 1	Comunicação Wireless.....	4
1.1	Introdução.....	4
1.2	Funcionamento da comunicação Wireless. ....	5
1.3	Tipos de comunicação Wireless .....	6
Capítulo 2	Módulos de comunicação .....	8
2.1	Introdução.....	8
2.2	Utilização dos módulos no projeto.....	13
2.3	Componentes utilizados.....	13
Capítulo 3	Modulador TRW 2.4G .....	17
3.1	Introdução.....	17
3.2	Especificações .....	18
3.3	Aplicações .....	18
3.4	Dimensão e funções .....	19
3.5	Operação.....	21
3.6	Configuração.....	23
Capítulo 4	Microcontrolador PIC16F628 .....	24
4.1	Introdução.....	25
4.2	Características e especificações.....	26
4.3	Descrição dos pinos .....	27
Capítulo 5	O Projeto .....	29
5.1	Introdução.....	29
5.2	Fluxo da mensagem.....	29
5.3	Comunicação Serial.....	35
5.4	Funcionamento da comunicação.....	36
5.4.1	Transmissão .....	36
5.4.2	Recepção .....	37
Capítulo 6	Apresentações das ferramentas e programação e dos programas desenvolvidos .....	38
6.1	Ferramentas de programação.....	38
6.2	Programas desenvolvidos .....	39
Conclusão.....		41
Trabalhos futuros.....		42
Bibliografia.....		43

Anexo 1 - Código em C do programa gravado no microcontrolador.....	44
Anexo 2 - Esquema Físico.....	52

## Lista de figuras

Figura 1.1: Exemplo de comunicação Wireless

Figura 2.1: Exemplo 1.1

Figura 2.2: Exemplo 1.2

Figura 2.3: Exemplo 1.3

Figura 2.4: Exemplo 2.1

Figura 2.5: Exemplo 2.2

Figura 2.6: Exemplo 2.3

Figura 2.7: Módulo de comunicação

Figura 2.8: Componentes do módulo de comunicação

Figura 2.9: Níveis de representação de sinais da porta serial

Figura 3.1: Vista do TRW 2.4G

Figura 3.2: Vista dos pinos do TRW 2.4G

Figura 3.3: Adaptador do TRW 2.4G

Figura 3.4: Transmissão FIFO

Figura 3.5: Modo ShockBurst

Figura 3.6: Comparação do modo ShockBurst

Figura 4.1: PIC 16F628

Figura 5.1: Transmissão no AccessPort

Figura 5.2: Fluxo da mensagem – 1ª Etapa

Figura 5.3: Fluxo da mensagem – 2ª Etapa

Figura 5.3: Fluxo da mensagem – 3ª Etapa

Figura 5.4: Fluxo da mensagem – 4ª Etapa

Figura 5.5: Fluxo da mensagem – 5ª Etapa

Figura 5.6: Recepção no AccessPort

Figura 5.6: Transmissão

Figura 5.7: Recepção

Figura 6.1: Programa PICC

Figura 6.2: Programa Sniper



# Lista de Tabelas

Tabela 3.1: Pinos do TRW 2.4G

Tabela 3.2: Protocolo do TRW 2.4G

Tabela 4.1: Pinos do PIC 16F628

## Lista de Símbolos/Definições

- A/D – Analógico / Digital
- ASCII - American Standard Code for Information Interchange
- EEPROM – Electrically Erasable Programmable Read Only Memory
- FIFO – First In First Out
- I/O – Input / Output
- MCU – Microcontrolador
- PDAs – Personal Digital Assistants
- RF – Radiofrequência
- RS-232 – Recommended Standard 232
- SRAM – Static Random Access Memory
- Transceptor – Transmissor e Receptor
- USART – Universal Synchronous Receiver Transmitter
- WI-FI - Wireless Fidelity
- WI-MAX – Worldwide Interoperability for Microwave Access
- WAN – Wide Area Network

# Introdução Geral

Cada vez mais a humanidade busca por tecnologias que sejam portáteis, de fácil manuseio, sem que se perca a qualidade e o desempenho. Os avanços da comunicação nos últimos anos possibilitaram o surgimento de várias tecnologias. Hoje em dia, as empresas estão apostando numa das revolucionárias tendências tecnológicas: a comunicação Wireless, ou comunicação sem fio.

Para que a comunicação sem fio possa um dia substituir a comunicação convencional, por cabos, faz-se necessário que este tipo de comunicação consiga ter o mesmo desempenho, qualidade, segurança e adaptação para os dispositivos que utilizam a comunicação convencional. É no desafio de comunicar pequenos dispositivos como os microcontroladores, que este projeto se baseia.

Devido ao tamanho, versatilidade e desempenho, os microcontroladores são utilizados em larga escala para automatização da indústria, processos e sistemas. Porém, a comunicação entre dois microcontroladores geralmente é feita por fios ou cabos. Neste projeto, os microcontroladores serão conectados a moduladores de radiofrequência e por isso terão o ar como canal de comunicação.

# Motivação

A tecnologia sem fio vem ganhando espaço rapidamente. Isso ocorre pela aproximação aos sistemas convencionais de comunicação quanto ao desempenho e a segurança. É bastante comum nas grandes cidades os sistemas Wireless. Para conectar-se à internet basta apenas que se tenha um computador dotado de um receptor Wireless.

O microcontrolador da família PIC é um dos mais utilizados atualmente no mundo. Isso ocorre devido ao preço acessível e as facilidades de uso. É possível controlar quase todos os sistemas utilizando microcontroladores como estes. [6]

# Objetivos

O objetivo deste projeto é estudar, implementar e demonstrar o funcionamento de um sistema de comunicação sem fio utilizando microcontroladores. Consiste de dois módulos de comunicação idênticos, capazes de transmitir e receber dados entre si. Cada módulo, é controlado por um microcontrolador e utiliza um modulador de radiofrequência para transmitir e receber o sinal.

Para facilitar o entendimento do funcionamento do projeto proposto, cada base é conectada à porta serial de um computador. Este exibe os dados transmitidos e recebidos por cada módulo de comunicação.

Os dados não são simplesmente recebidos e enviados pelos módulos. O microcontrolador cria um pacote que é constituído dos dados enviados e de alguns dados de controle, como o endereço que deve ser entregue os dados, no caso o módulo receptor. Dessa forma, torna-se um tipo de comunicação sem fio com endereçamento, onde o módulo só processa o que for destinado a ele, reduzindo assim o nível de ruídos e erros em cada pacote de dados.

# Capítulo 1 - Comunicação Wireless

## 1.1 – Introdução

A comunicação Wireless caracteriza qualquer tipo de conexão para transmissão de informações sem a utilização de fios ou cabos. Surgiu e avançou bem rápido em nosso cotidiano. Este modelo de comunicação veio acompanhado de várias tecnologias e cada uma tem um termo para designá-las, tais como: Wi-Fi, InfraRed (infravermelho), Bluetooth, Wi-Max.

Para entendermos o que é Wireless, primeiramente temos que entender o que significa este termo. A palavra Wireless provém do inglês: Wire (fio, cabo); Less (sem); ou seja: sem fios.

Uma conexão Wireless é qualquer forma de conexão entre dois sistemas transmissores e receptores de dados que não requeira o uso de fios. Para tanto são utilizadas frequências de rádios ou sinais luminosos, geralmente na faixa de infravermelho. Utiliza como meio de transmissão o ar ou o vácuo. Sistemas de comunicação Wireless podem permitir o tráfego de voz, dados ou ambos.[1]

A comunicação Wireless é conhecida como uma nova tecnologia, devido ao fato de atualmente ter um contexto mais específico e complexo do que termo em inglês: sem fio. A comunicação Wireless atual, transmite os dados, geralmente digitalizados, entre dois dispositivos ou equipamentos. Ou seja, esta tecnologia veio substituir as ligações entre equipamentos feitas por cabos ou fios, utilizando-se ondas eletromagnéticas como meio de propagação. São exemplos de comunicação Wireless: o controle de televisão ou aparelho de som, o telefone celular. O termo é empregado normalmente na indústria de telecomunicações para definir sistemas de comunicação à distância.

Por causa desta tecnologia, hoje é possível conectar computadores à internet sem a utilização de fios. Isto torna

computadores portáteis, realmente portáteis. Em algumas cidades já é possível conectar-se a uma rede, estando em um carro.

Neste projeto, é utilizada a comunicação Wireless para fazer a transmissão digital entre dois microcontroladores que estão ligados em um computador. Ou seja, é feita a comunicação Wireless entre dois computadores.

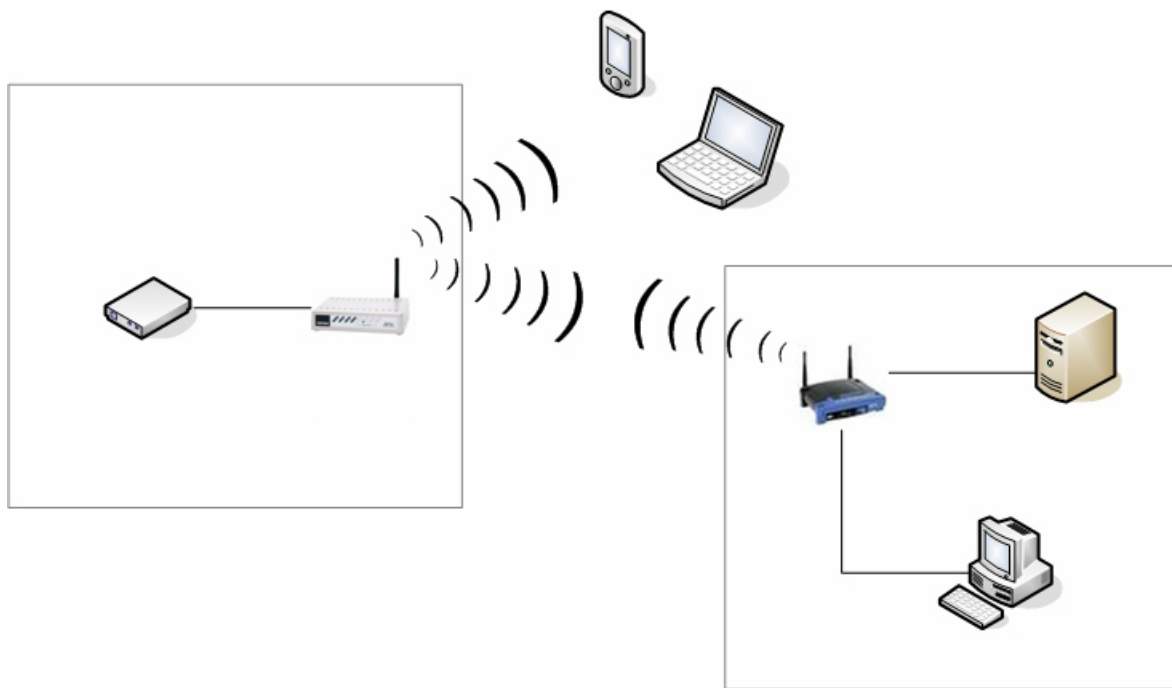


Figura 1.1: Exemplo de comunicação Wireless

## 1.2 - Funcionamento da comunicação Wireless

É utilizada neste projeto a comunicação Wireless por radiofrequência.

A comunicação Wireless via rádio, utiliza ondas eletromagnéticas como elemento de ligação entre transmissor e receptor. Como essas ondas possuem a propriedade de irradiarem-se pelo espaço, dispensando a existência de quaisquer meios físicos para a sua transmissão. [2]

O transmissor produz o sinal na forma de corrente alternada. A frequência da oscilação pode ir desde milhares de vezes por segundo até milhões de vezes por segundo, e é medida em

kilohertz ou megahertz. Ao oscilar na antena ligada ao transmissor, a corrente produz uma onda eletromagnética em sua volta, que se irradia pelo ar. Quando atinge uma antena receptora, a onda eletromagnética induz nela uma pequena corrente elétrica que se alterna para frente e para trás ao longo da antena, acompanhado as oscilações da onda. Essa corrente é muito mais fraca do que a presente na antena transmissora, mas pode ser amplificada pelo aparelho receptor. [2]

Existem na atmosfera várias ondas eletromagnéticas de várias frequências. Todas as ondas irão atingir a antena receptora, o que pode ser bastante caótico. Mas é possível sintonizar uma faixa de frequência em particular. Deste modo, o receptor responde apenas aos sinais dessa faixa determinada, desprezando as demais.

### **1.3 - Tipos de comunicação Wireless**

Existem várias tecnologias derivadas da comunicação Wireless. Neste tópico, serão mencionadas duas das principais. São elas: Wi-Fi, Bluetooth.

- O Wi-Fi, ou wireless fidelity, é a tecnologia de rede Wireless mais utilizada no mundo. Essa Tecnologia é utilizada para a criação de redes sem fio para comunicação em alta velocidade (até 50 Mbps - megabits por segundo, com previsão de chegar até 108 Mbps em pouco tempo) e que permite a criação de aplicações para uso em equipamentos móveis como notebooks e handhelds para uso fora de uma WAN(Wide Area Network).[3]
- O Bluetooth é utilizado para comunicação sem fio entre pequenos dispositivos de uso pessoal, como celulares, PDAs, computadores portáteis, etc. É uma tecnologia bastante difundida, devido ao fato de estar na maioria dos aparelhos portáteis modernos. Bluetooth é um padrão de



comunicação de rádio de baixo consumo elétrico e curtíssimo alcance, cerca de dez metros entre os dispositivos. Opera na faixa de frequência pública 2,4 GHz. É necessário apenas que os aparelhos estejam próximos para que seja feita comunicação.

Neste projeto, não é utilizado nenhum dos padrões mencionados acima. É utilizado um padrão de comunicação Wireless próprio do fabricante do modulador. Este padrão possui um protocolo de comunicação próprio e é detalhado no capítulo 3.

# Capítulo 2 - Módulos de comunicação

## 2.1 - Introdução

O Módulo de comunicação tem a função fazer a comunicação wireless com um ou mais módulos de comunicação, seja para receber ou transmitir dados. Cada módulo é independente de outros módulos para funcionar. Enquanto um pode estar sendo utilizado apenas para transmitir, outro pode estar configurado apenas para receber, um outro ainda, pode estar configurado para transmitir e receber dados de vários outros módulos. Por utilizar microcontroladores para gerenciar a comunicação, as aplicações dos módulos são ilimitadas, uma vez que hoje em dia os microcontroladores são capazes de comunicar-se de modo serial com quase todos os dispositivos eletrônicos existentes no mercado; e para os que não são compatíveis existem vários tipo de adaptadores. Se um dispositivo eletrônico, por mais simples que seja, for capaz de comunicar-se com o microcontrolador do módulo, esse será capaz de realizar a comunicação Wireless com qualquer outro dispositivo que esteja conectado a outro modulador.

A seguir são mostrados três exemplos de aplicações possíveis utilizando os módulos de comunicação. Pelo fato de utilizar a comunicação Wireless em nenhum exemplo é necessária a utilização de cabos.

- **Exemplo 1 – Controle de temperatura.**

Deseja-se controlar a temperatura de uma fábrica.

Um termômetro é conectado a um módulo de comunicação e instalados no teto de uma fábrica. Este termômetro tem a função de controlar a temperatura da fábrica, a fim de acionar e alterar a potência do condicionador de ar central.

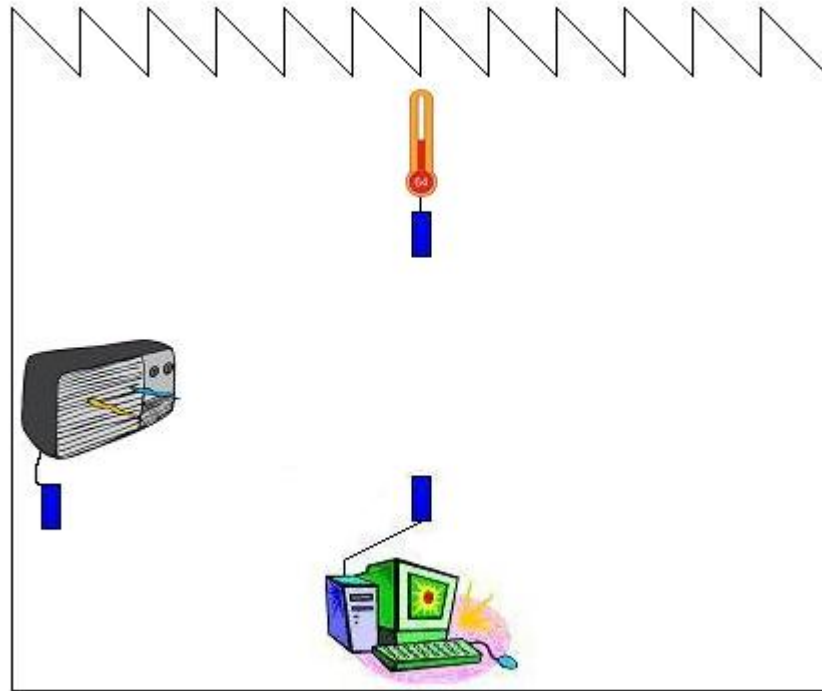


Figura 2.1: Exemplo 1.1

A leitura do termômetro é enviada pelo módulo de comunicação conectado a ele para um outro módulo que esta conectado a porta serial de um computador.

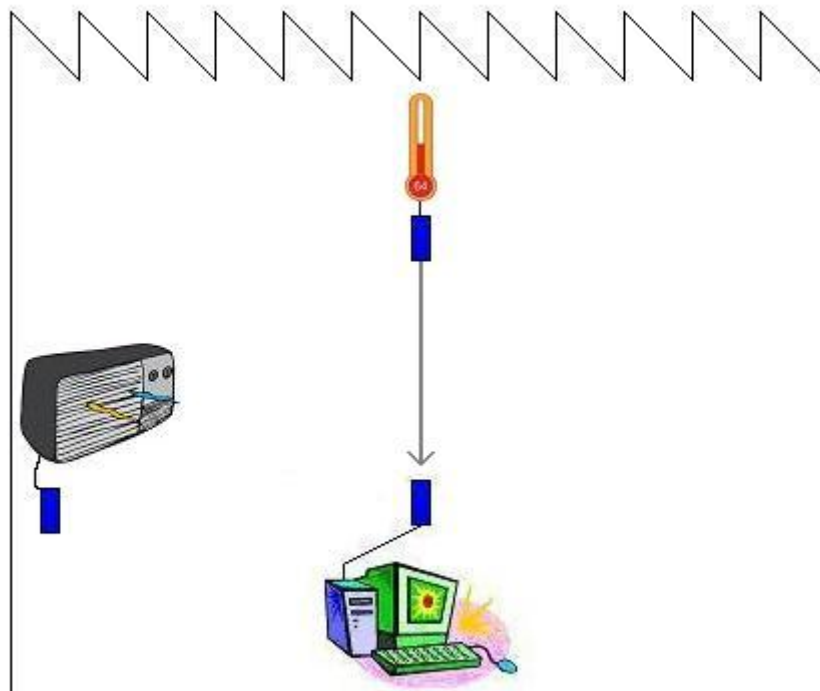


Figura 2.2: Exemplo 1.2

O computador obtém a leitura exata do termômetro e utilizando o mesmo módulo, envia a informação para o modulador conectado ao condicionador de ar central da fábrica.

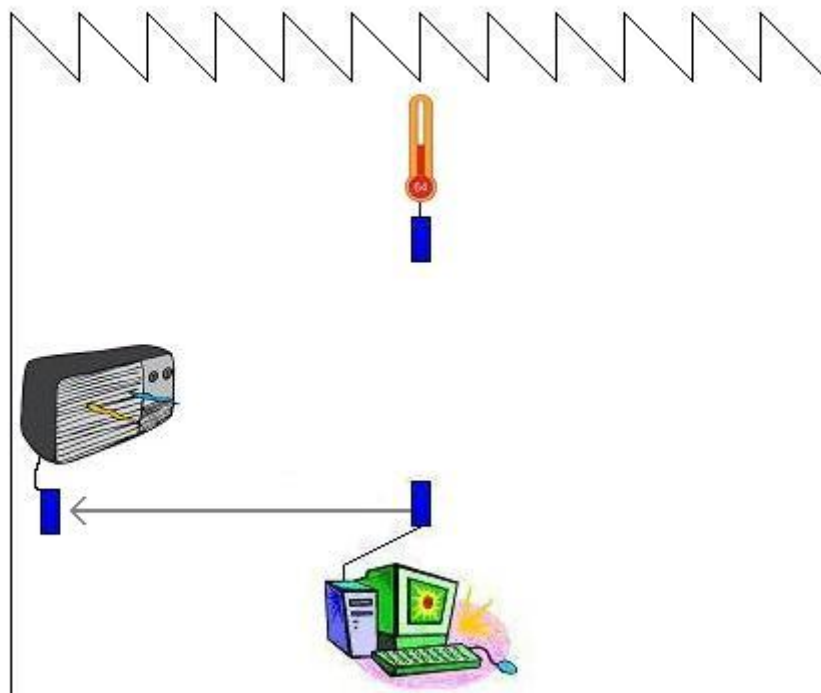


Figura 2.3: Exemplo 1.3

- **Exemplo 2 - Controle de iluminação.**

Um ginásio de esportes possuiu várias janelas. Por isso, dependendo do horário do dia, nem todas as lâmpadas precisam estar acesas, porém, devido às estações do ano e ao clima, dias diferentes podem ter iluminação diferente no mesmo horário. Cada módulo é conectado a uma lâmpada do ginásio. Outros módulos são conectados a sensores para medir a iluminação e distribuídos em diferentes locais do ginásio. Todos os módulos comunicam-se apenas com um módulo central que está conectado à porta serial de um computador.

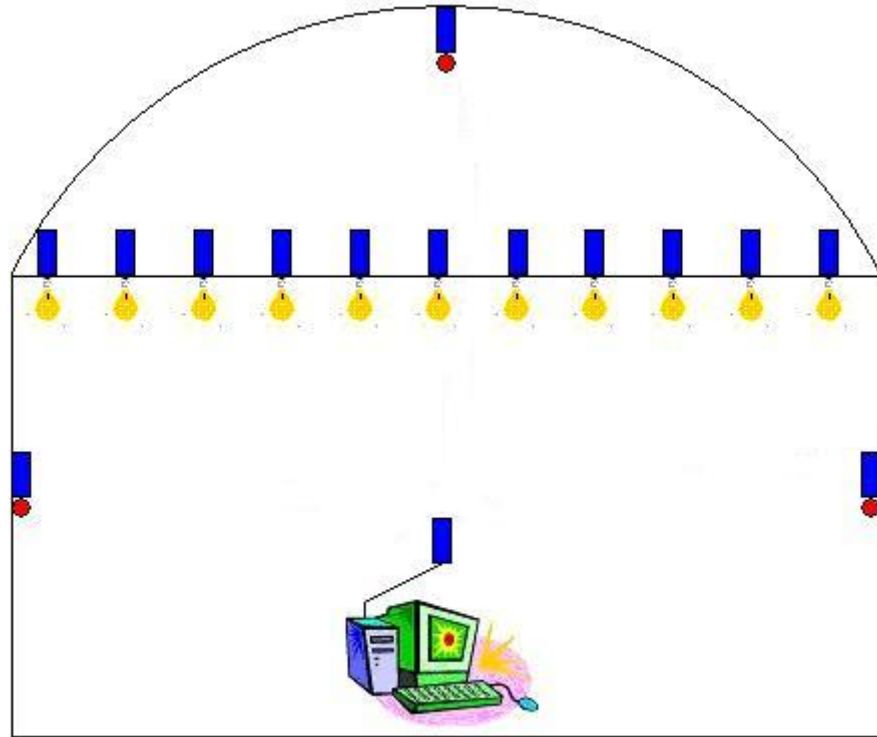


Figura 2.4: Exemplo 2.1

A leitura dos sensores de iluminação são enviadas para o computador utilizando os módulos de comunicação.

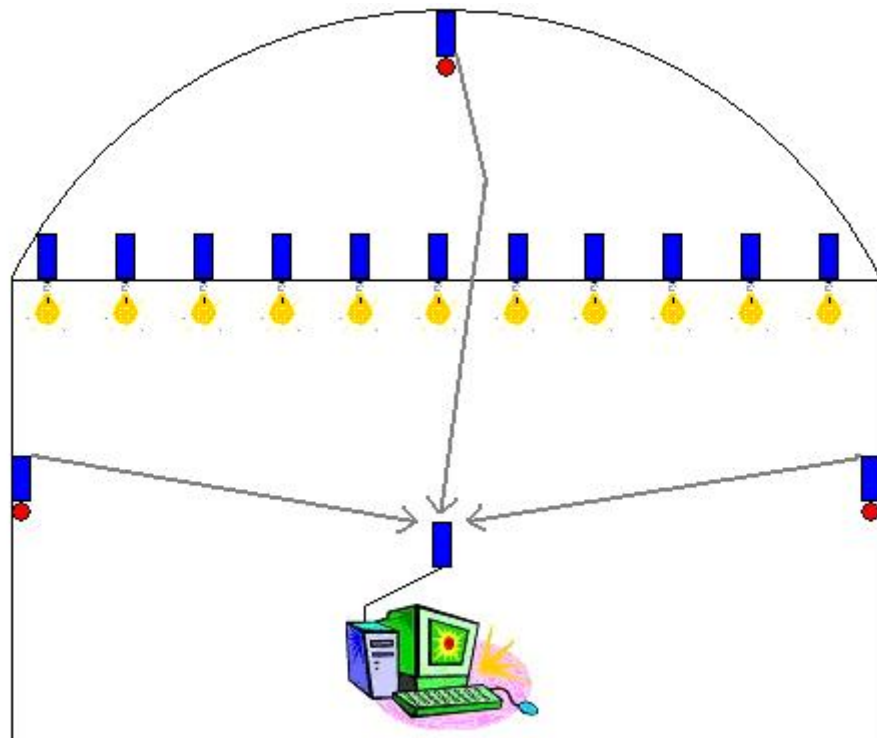


Figura 2.5: Exemplo 2.2

Com todos os dados dos sensores o computador é capaz de acionar as lâmpadas individualmente, a fim de conseguir uma iluminação eficiente, utilizando o mínimo de lâmpadas possíveis.

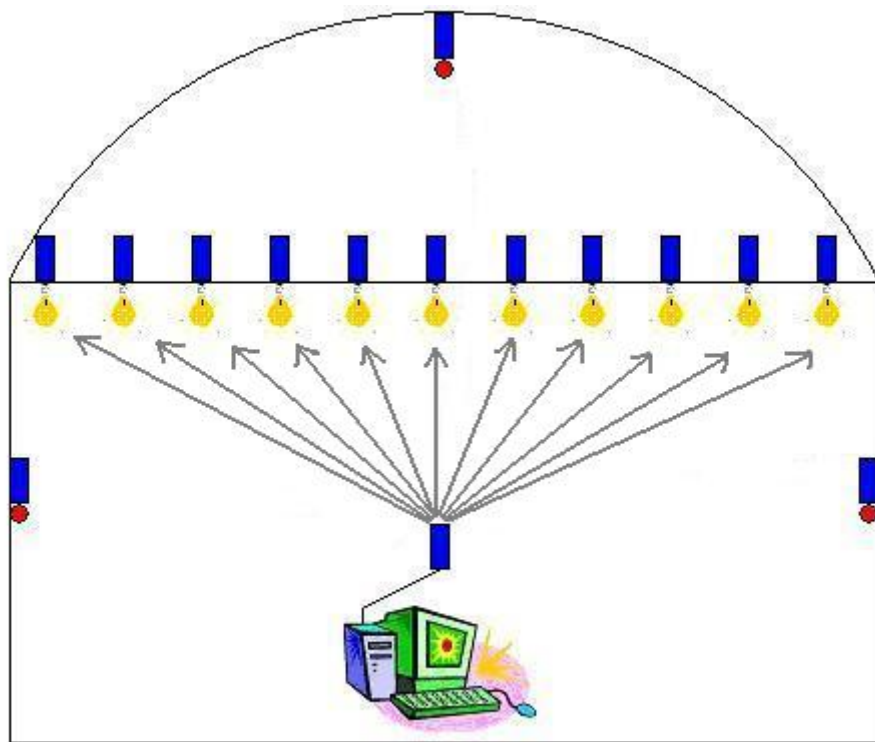


Figura 2.6: Exemplo 2.3

## 2.2 - Utilização dos módulos no projeto

O projeto é composto de dois módulos de comunicação. Ambos são capazes de receber e transmitir dados entre si, ou seja, enquanto um transmite os dados, o outro é configurado automaticamente para receber os dados.

Os principais elementos de cada módulo são: o modulador de radiofrequência, o microcontrolador, o conversor de tensão (RS-232), a antena e a fonte de alimentação. Cada módulo é conectado à porta serial de um computador.

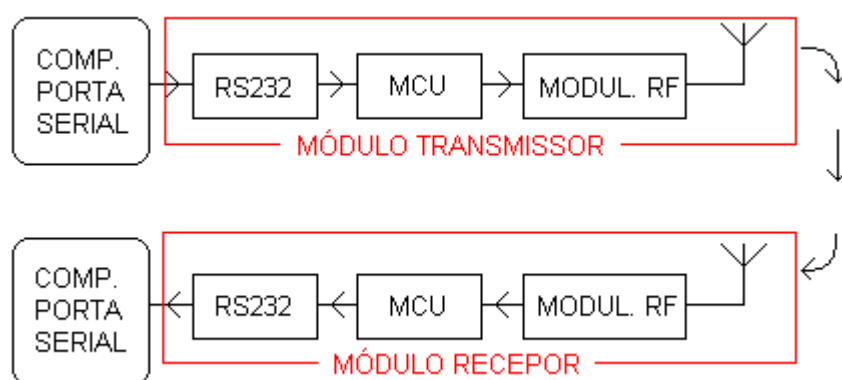


Figura 2.7 – Módulo de comunicação

## 2.3 - Componentes utilizados

Serão utilizados os mesmos componentes em cada um dos módulos de comunicação. As conexões entre os dispositivos são mostradas na figura 2.8.

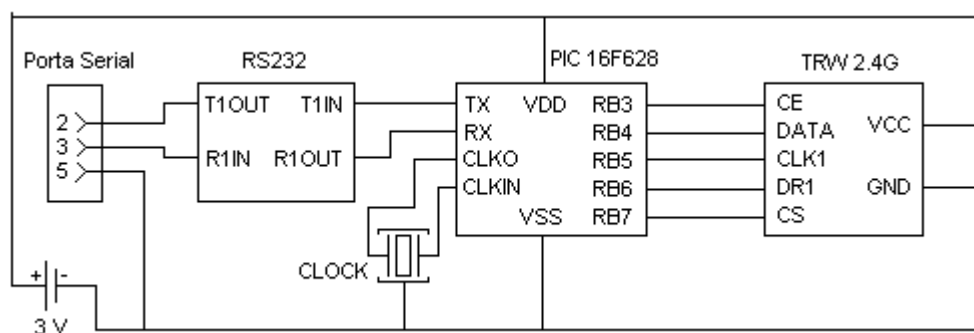


Figura 2.8: Componentes do módulo de comunicação

- **Transceptor TRW 2.4G**

O transceptor TRW 2.4G, é um transceptor (transmite e recebe dados) da Laipac, de origem norte americana. que trabalha na freqüência de 2,4 GHz. Por ser um componente eletrônico muito novo, ainda não é possível comprá-lo no Brasil.

No modo de transmissão, sua função no módulo de comunicação é receber os dados digitalizados do microcontrolador, transformá-los em onda de radiofreqüência e transmitir essas ondas.

No modo de recepção, os dados são captados e armazenados em um buffer interno. Quando for considerado um dado válido, estes são transmitidos para o microcontrolador.

- **Microcontrolador PIC 16F628**

No microcontrolador é gravado o programa de controle de decisões do módulo de comunicação. É utilizado um microcontrolador PIC 16F628 da Micro Chip. Este microcontrolador é um dos mais utilizados no mundo. Por esse motivo é bastante fácil encontrá-lo no Brasil a um preço acessível.

No modo de transmissão o microcontrolador recebe os dados da porta serial do computador. Estes dados são tratados e empacotados em um protocolo de comunicação Wireless, e emitidos ao transceptor para serem transmitidos.

No modo de recepção, o microcontrolador recebe os dados válidos do transceptor. Os dados são desempacotados no microcontrolador e transmitidos para a porta serial do computador para então serem exibidos.



- **RS-232**

RS-232 é um padrão utilizado para fazer a troca de dados entre dispositivos que operam em níveis lógicos tensões diferentes.

O microcontrolador utiliza níveis lógicos de tensão que trabalham em níveis de tensão de 0V (zero volts) para representar o bit de valor '0'(zero) e 5V (cinco volts) para representar o bit de valor '1' (um). Por sua vez, a porta serial utiliza para representar o bit de valor '0', o intervalo de tensão entre +3V à +25V, e para representar o bit de valor '1', o intervalo de tensão entre -3V à -25V [4]. Para que seja possível fazer a comunicação entre a porta serial e o microcontrolador, deve-se utilizar uma interface de conversão no padrão RS-232.

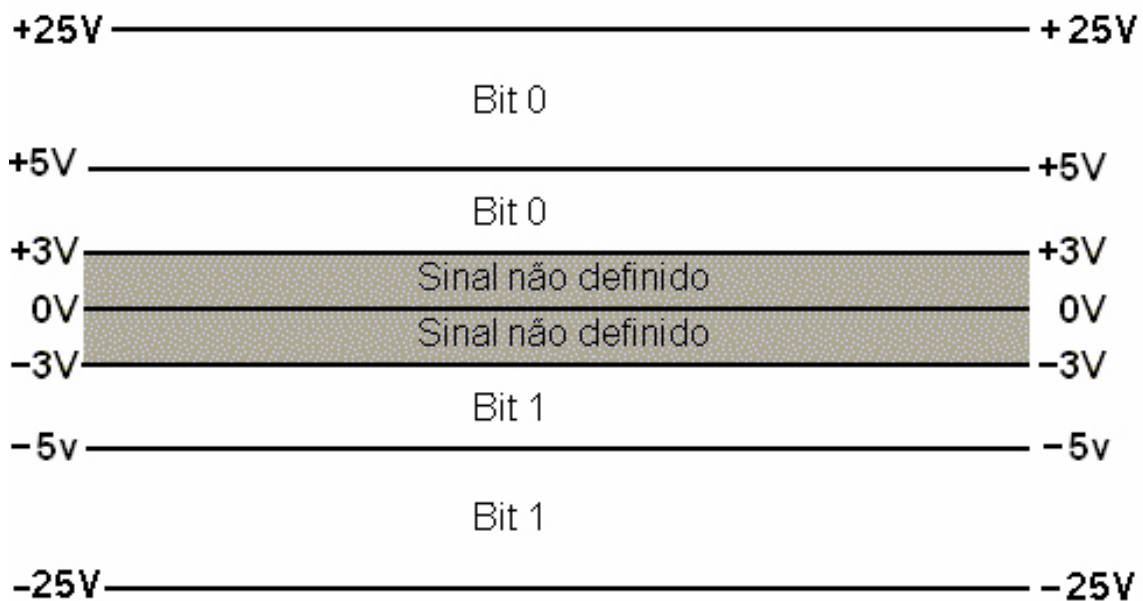


Figura 2.9: Níveis de representação de sinais da porta serial

- **Antena.**

A antena tem a função de transmitir e receber ondas de rádio. Ela é conectada diretamente ao modulador e define o alcance que o módulo terá para comunicação. O alcance da antena utilizada neste projeto varia entre 200 e 300 metros,

dependendo das condições de clima e obstáculos no ambientes.

- **Fontes de energia**

O microcontrolador e o RS-232 utiliza, 5 volts para operação. Utiliza uma fonte de energia com esta tensão. Já o modulador utiliza cerca de 3 volts. São utilizadas duas pilhas do tipo AA de 1,5 volts.

## **Capítulo 3 - Modulador TRW 2.4G**

### **3.1 - Introdução**

O TRW 2.4G é um transceptor (transmissor + receptor) de rádio de alta frequência da marca Laipac. É fácil utiliza-lo no mundo inteiro, pois trabalha com a frequência entre 2,4 GHz a 2,5 GHz. Utiliza comunicação bidirecional, ou seja pode receber e transmitir dados ao mesmo tempo. O TRW 2.4G é composto de uma antena, um sintetizador de frequência inteiramente integrado, um amplificador de energia, um oscilador de cristal e um modulador. A fonte de alimentação pode variar de 1,9 a 3,6 volts. Possui um consumo baixo de corrente, cerca de 10,5 mA em modo de transmissão e 18 mA no modo de recepção. Utiliza um micro chip da Nordic nRF2401 com um cristal de 16 MHz. Pode operar em dois canais distintos o que torna a comunicação bidirecional mais eficiente. É um dispositivo que está sendo amplamente utilizado, devido ao bom desempenho em sistemas Wireless. [5]

## 3.2 - Especificações

- Escala de Freqüência: 2.4~2.524 GHz.
  - Taxa de Dados: 1Mbps ou 250kbps.
  - Simula ligação full duplex de ate 1 Mbits por segundo na taxa de dados no ar.
  - Receptor duplo simultâneo.
  - Inclui decodificador, codificador e um buffer de dados.
  - No modo ShockBurst opera com consumo ultra-baixo de energia e um bom desempenho do microcontrolador.
  - Sensibilidade: -90dBm.
  - Antena integrada
  - Fonte de alimentação: 1,9 V a 3,6 V
  - Corrente consumida na transmissão: 10.5mA
  - Corrente consumida na recepção: 18mA
  - Alcance de até 300 metros
  - Temperatura de operação: -40~+85 graus centígrado.
- Tamanho: 20.5\*36.5\*2.4mm.

[5]

## 3.3 - Aplicações

- Mouse, teclado, joystick Wireless.
- Transmissão de dados Wireless.
- Sistemas de segurança, alarme.
- Automatização de lares.
- Earphone Wireless.
- Telemetria.
- Automotivo.

[5]

### 3.4 - Dimensão e funções

As dimensões do TRW 2.4G são pequenas, como mostrados na figura 3.1:

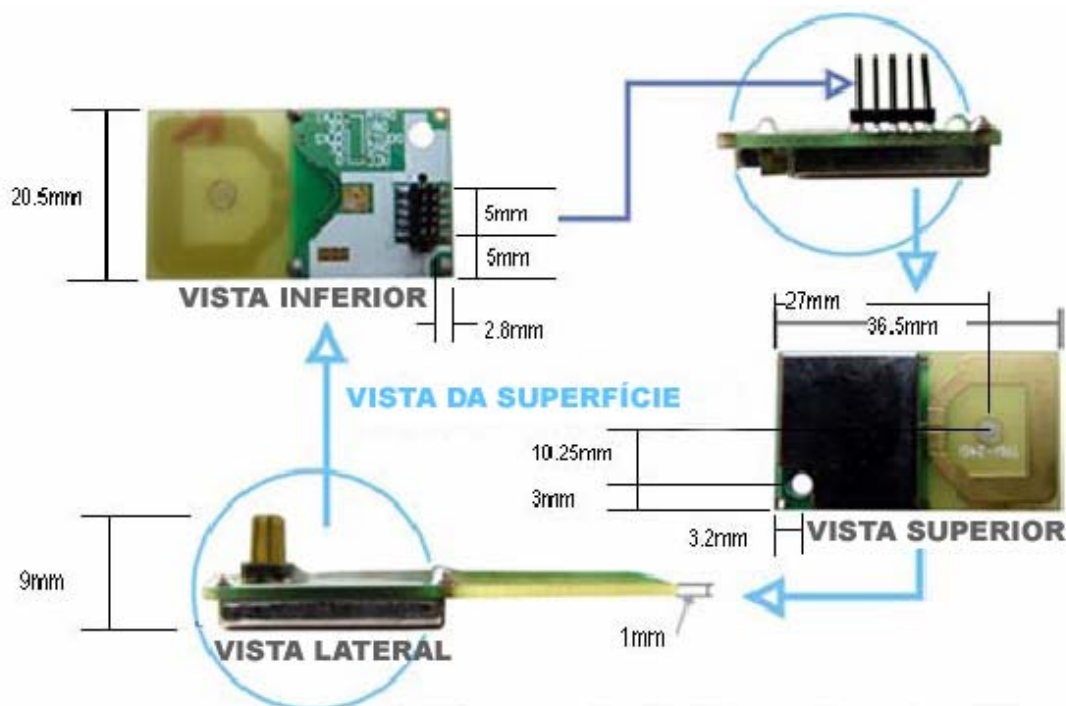


Figura 3.1: Vista do TRW 2.4G

O TRW 2.4 possui 10 pinos em duas fileiras com cinco pinos cada. A figura 3.2 mostra a disposição dos pinos.

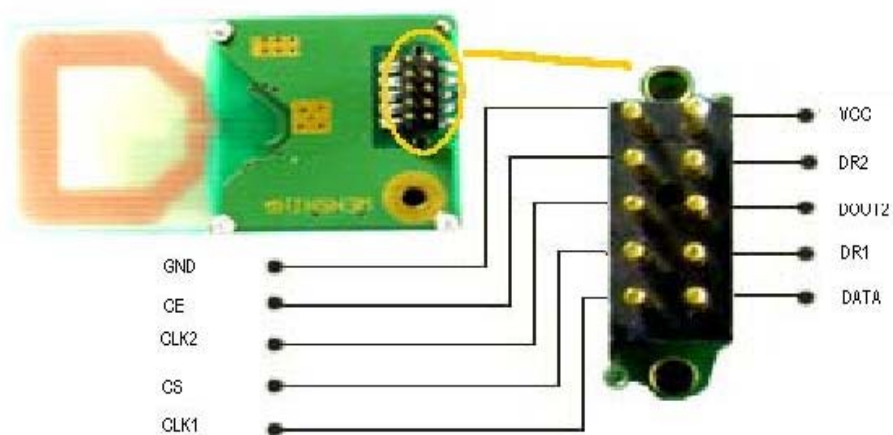


Figura 3.2: Vista dos pinos do TRW 2.4G

## Função dos pinos

<b>Pino</b>	<b>Nome</b>	<b>Função do Pino</b>	<b>Descrição</b>
1	GND	Terra	Terra (0V)
2	CE	Entrada	O Chip Enable – ativar o modo RX (recepção) ou TX (transmissão)
3	CLK2	Entrada e Saída	Clock – entrada/saída para os dados do canal 2 em RX
4	CS	Entrada	O Chip Select – Determina o modo de configuração utilizada
5	CLK1	Entrada e Saída	Clock – Saída para TX e Entrada e Saída para RX. Utilizado para os dados do canal 1
6	DATA	Entrada e Saída	Dados de RX no canal 1 e dados de entrada no TX
7	DR1	Saída	Dados de RX no canal 1 – Utilizado apenas em modo ShockBurst.
8	DOUT2	Saída	Dados de RX no Canal 2
9	DR2	Saída	Dados de RX no Canal 2 – Utilizado apenas em modo ShockBurst.
10	VCC	Energia	Fonte de Alimentação (+3V DC)

Tabela 3.1: Pinos do TRW 2.4G

Assim como tudo no TRW 2.4, os pinos também são muito pequenos e pouco espaçados, o que torna difícil a sua utilização em um projeto. A realização de soldas nos pinos para aumentar o espaçamento não é aconselhável, pois um aparelho padrão de solda pode unir dois ou mais pinos. A solução encontrada neste projeto é a utilização de um adaptador.



Figura 3.3: Adaptador do TRW 2.4G

### 3.5 - Operação

O TRW 2.4 pode ser utilizado em dois modos de operação: ShockBurst e Modo direto Transmissão/Recepção.

- **Modo direto**

O modo direto funciona como um dos tradicionais dispositivos de radiofreqüência, ou seja, nesse modo, o TRW 2.4G trabalha simplesmente como um transmissor ou um receptor de dados. [5] Por não ser utilizado nesse trabalho, não será detalhada a maneira que é feita com a comunicação neste modo.

- **Modo ShockBurst**

Quando o TRW 2.4G está operando em modo ShockBurst, têm-se altas taxas de dados (1 Mbps) em alta faixa freqüência de 2,4 GHz sem a necessidade de um microcontrolador de velocidade elevada para processar os dados. Os dados são armazenados em um buffer interno, utilizando a técnica de fila FIFO (First In First Out). A técnica de enfileiramento FIFO é

bastante utilizada em comunicações seriais. O mecanismo é bem simples, o primeiro bit a ser inserido, é também o primeiro bit a ser removido. [5]

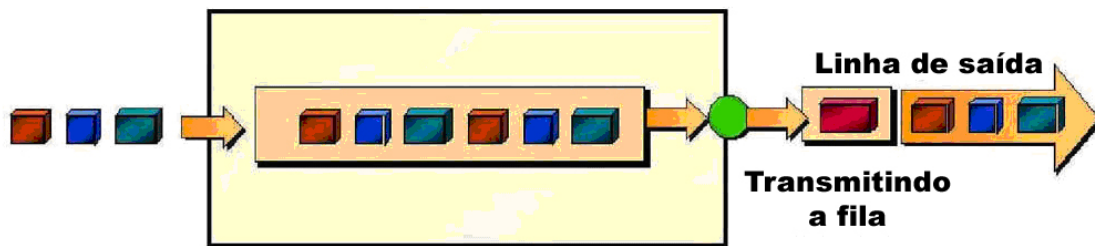


Figura 3.4: Transmissão FIFO

O modo ShockBurst tem como principais benefícios:

- Redução do consumo de corrente;
- Custo mais baixo de sistema;
- Reduz extremamente o risco de colisões no ar, devido ao curto tempo de transmissão;
- Permite que o microcontrolador realize outras atividades enquanto os dados são transmitidos pelo TRW 2.4 G.

A velocidade de transmissão de dados é decidida pelo microcontrolador. A comunicação do microcontrolador com o TRW 2.4G e a transmissão de dados utilizando-se a tecnologia ShockBurst é mostrada na figura 3.5.

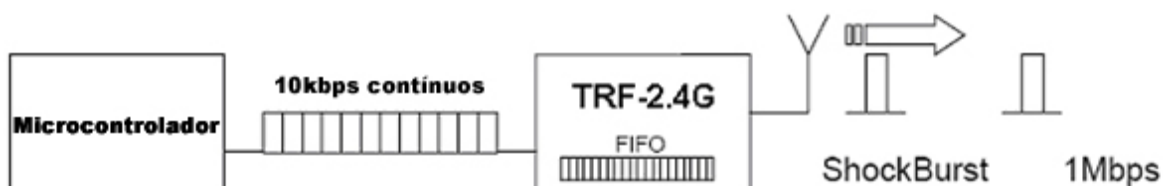


Figura 3.5: Modo ShockBurst

Na figura 3.6 é mostrada a diferença de consumo de corrente entre um sistema que utiliza a tecnologia ShockBurst e outro sistema que não utiliza a tecnologia ShockBurst. [5]



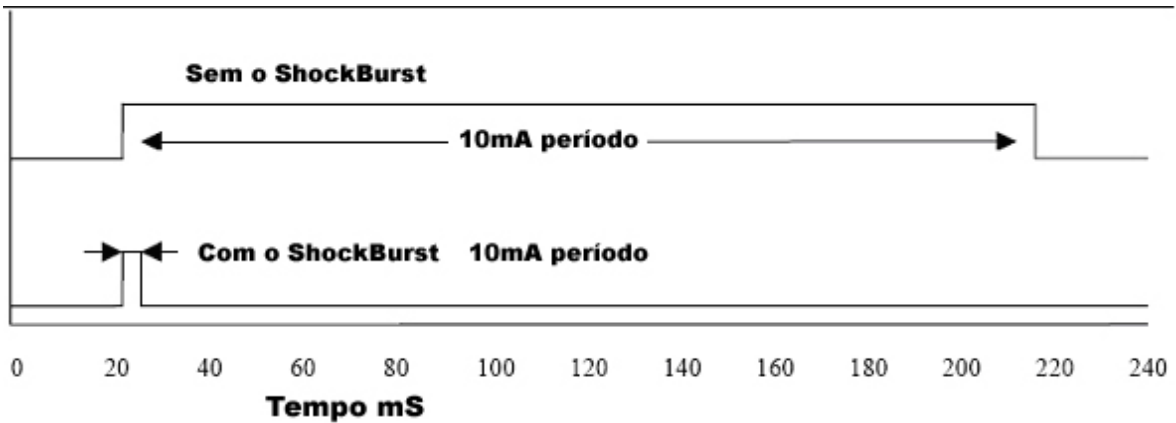


Figura 3.6: Comparação do modo ShockBurst

### 3.6 - Configuração

A configuração da palavra permite criar um protocolo de radiofrequência para comunicação entre os TRW 2.4G utilizando a tecnologia ShockBurst. O pacote é formado da seguinte forma:

<b>PRE-AMBLE</b>	<b>ENDEREÇO</b>	<b>DADOS</b>	<b>CRC</b>
------------------	-----------------	--------------	------------

- **Pré-Ambles:** Pode ter o tamanho de 4 ou 8 bits. O Pré-Ambles é automaticamente adicionado ao pacote de dados e serve para dar um espaço extra para os dados. Ao chegar ao receptor o Pré-Ambles é removido do pacote.[5]
- **Endereço:** Pode ter o tamanho de 8 a 40 bits. Determina o endereço ao qual é destinado o pacote. Caso o receptor não reconheça o endereço, o pacote é descartado. Ao chegar ao receptor, o endereço é removido do pacote.[5]
- **Dados:** O tamanho dos dados é de 256 bits menos a soma do tamanho do endereço e do CRC. Neste espaço ficam os dados a serem transmitidos.[5]
- **CRC:** Pode ter o tamanho de 8 ou 16 bits. É o processo de revisão de redundância cíclica. O CRC foi projetado para

detectar erros aleatórios nos dados que são transmitidos. Ao chegar ao receptor o CRC é removido do pacote.

O TRW 2.4 utiliza um protocolo com a palavra de 15 bytes. Essa palavra é gerada no microcontrolador e dividida conforme a tabela 3.2

	<b>Posição do Bit</b>	<b>Numero de Bits</b>	<b>Nome</b>	<b>Função</b>
<b>Configuração do ShockBurst</b>	143:120	24	TEST	Reservado para teste
	119:112	8	DATA2_W	Tamanho dos dados da sessão RX do canal 2
	111:104	8	DATA1_W	Tamanho dos dados da sessão RX do canal 1
	103:64	40	ADDR2	Aumenta para 5 bytes o endereço para o canal 2
	63:24	40	ADDR1	Aumenta para 5 bytes o endereço para o canal 1
	23:18	6	ADDR_W	Numero de endereço de bits (para ambos os canais RX)
	17	1	CRC_L	8 ou 16 bits CRC
	16	1	CRC_EN	Habilita CRC geração/checagem
<b>Configuração Geral do Dispositivo</b>	15	1	RX2_EN	Habilita dois canais do modo de recebimento
	14	1	CM	Modo de comunicação (Direto ou ShockBurst)
	13	1	RFDR_SB	Taxa de dados do RF (1Mbps requer 16MHz cristal)
	12:10	3	XO_F	Frequência do cristal. Padrão 16MHz
	9:8	2	RF_PWR	Energia de saída RF
	7:1	7	RF_CH#	Frequência do Canal
	0	1	RXEN	Operação de RX ou TX

Tabela 3.2: Protocolo do TRW 2.4G

# Capítulo 4 – Microcontrolador PIC16F628

## 4.1 – Introdução

Um microcontrolador (MCU) é um componente que possui microprocessador, memória e periféricos no mesmo encapsulamento. Alguns técnicos dizem; “Microcontrolador é um computador em um único chip”.

Os microcontroladores começaram a ser fabricados a partir da década de 80, e a família 8051 (concebida pela Intel Corporation) tornou-se um padrão. À medida que a tecnologia avança, os microcontroladores vão se tornando mais robustos e com maior capacidade de processamento, ficando cada vez mais rápidos, com novos dispositivos I/O integrados aos vários recursos já presentes nesses chips, tais como: USART, comparador, conversor A/D, oscilador interno, modulador RF, etc.

Muitas empresas fabricam microcontroladores hoje em dia, fato que contribui para que projetistas tenham a possibilidade de escolher o fabricante e o modelo de MCU que melhor atendam às suas necessidades. [6]

Cada módulo do projeto utiliza um microcontrolador PIC 16F628 da Microship Technology. Esse modelo de MCU foi escolhido para o projeto porque ele é versátil, compacto, rápido e poderoso e um dos mais utilizados no mundo.

## 4.2 - Características e especificações

Suas principais características são:

- Baixo custo;
- Facilidade de programação;
- Grande diversidade de periféricos internos;
- Compatibilidade em nível de software e de hardware como outros PICs;
- Memória de programa do tipo FLASH;
- Excelente velocidade de execução.

Além disso, podemos também destacar as seguintes especificações:

- 2048 x14 bits de memória FLASH;
- 224 x 8 bits de memória SRAM disponíveis para o usuário;
- 128 x 8 bits de memória EEPROM interna;
- Pilha com 8 níveis
- 15 pinos de I/O (entrada ou saída);
- 1 pino de entrada;
- 1 timer/contador de 8 bits;
- 1 timer/contador de 16 bits;
- 1 timer de 8 bits;
- 1 canal de comunicação USART serial;
- 2 comparadores analógicos com referência interna programável de tensão;
- 10 fontes de interrupção;
- Capacidade de corrente de 25 mA por pino de I/O;
- 35 instruções;
- Frequência de operação desde DC (0 Hz) até 20 MHz;
- Oscilador 4MHz/37KHz interno;
- Tensão de operação entre 3.0 a 5.5V
- Compatível pino a pino com outros PICs de 18 pinos.

[7]

## 4.3 - Descrição dos pinos

Na figura 4.1 é mostrada a disposição física do PIC 16F628:

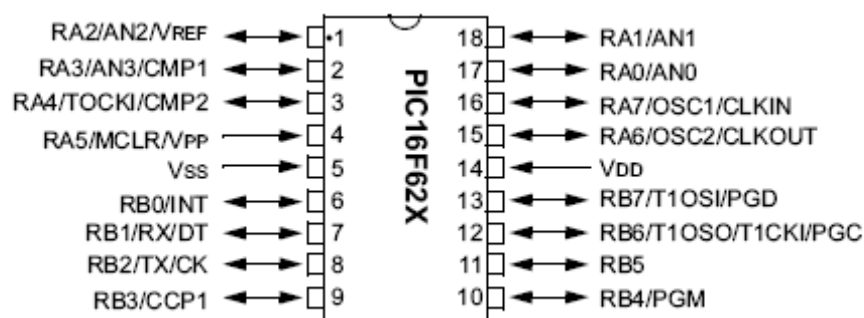


Figura 4.1: PIC 16F628

Pino	Função	Tipo	Descrição
1	RA2 AN2 Vref	Entrada/Saída	Porta A bit 2 / Entrada comparador analógico / Saída da referência de tensão
2	RA3 AN3 CMP1	Entrada/Saída	Porta A bit 3 / Entrada comparador analógico / Saída comparador 1
3	RA4 TOCKI CMP2	Entrada/Saída	Porta A bit 4 / Entrada de clock externo do timer 0 / Saída comparador 2
4	RA5 MCLR THV	Entrada	Porta A bit 5 / Reset CPU / Tensão de programação
5	Vss	Alimentação	Terra
6	RB0 INT	Entrada/Saída	Porta B bit 0 / Entrada interrupção externa
7	RB1 RX DT	Entrada/Saída	Porta B bit 1 / Recepção USART (modo assíncrono) / Dados (modo síncrono)
8	RB2 TX CK	Entrada/Saída	Porta B bit 2 / Transmissão USART (modo assíncrono) / Clock (modo síncrono)
9	RB3 CCP1	Entrada/Saída	Porta B bit 3 / Entrada/saída do módulo CCP
10	RB4 PGM	Entrada/Saída	Porta B bit 4 / Entrada de programação LVP

11	RB5	Entrada/Saída	Porta B bit 5
12	RB6 T1OSO T1CK1	Entrada/Saída	Porta B bit 6 / Saída oscilador TRM1 / Entrada Clock TMR1
13	RB7 T1OSI	Entrada/Saída	Porta B bit 7 Entrada oscilador TRM1
14	Vdd	Alimentação	Alimentação positiva
15	RA6 OSC2 CLKOUT	Entrada/Saída	Porta A bit 6 / Entrada para cristal oscilador / Saída de clock
16	RA7 OSC1 CLKIN	Entrada/Saída	Porta A bit 7 / Entrada para cristal oscilador / Saída de clock externo
17	RA0 AN0	Entrada/Saída	Porta A bit 0 / Entrada comparador analógico
18	RA1 AN1	Entrada/Saída	Porta A bit 1 / Entrada comparador analógico

Tabela 4.1: Pinos do PIC 16F628

# Capítulo 5 - O Projeto

## 5.1 - Introdução

O projeto de comunicação de dados utilizando microcontroladores consiste na construção de dois módulos de comunicação idênticos, capazes de transmitir e receber dados entre si. Uma das vantagens da utilização de microcontroladores no módulo de comunicação é que existem várias possibilidades de aplicação para a comunicação Wireless. No módulo, os microcontroladores podem funcionar de maneira independente, como por exemplo, sensores que captam alguma alteração de temperatura em determinado local, ou podem receber e transmitir dados para outros dispositivos de modo serial, como visto no Capítulo 2. Como o projeto visa o teste dos módulos para fazer uma análise dos resultados, cada módulo, tem o microcontrolador ligado a porta serial de um computador, que é capaz de receber e transmitir mensagens de texto.

## 5.2 - Fluxo da mensagem

Existem cinco etapas em que a mensagem passa do início da transmissão até o fim da recepção.

### **1º Etapa – Do computador para microcontrolador.**

A mensagem é escrita e enviada por um programa que transforma os caracteres em bits e utiliza a porta serial do um computador para transmitir os dados. Existem vários softwares capazes de transmitir e receber dados utilizando a porta serial do computador. Como não está no escopo deste projeto a comunicação serial entre o computador e o microcontrolador, o software não é implementado. Para fazer essa transmissão no projeto, é utilizado o software livre AccessPort. A transmissão só é corretamente executada se a

velocidade de transmissão configurada no AccessPort, for a mesma que foi programada no pino de recepção do microcontrolador.

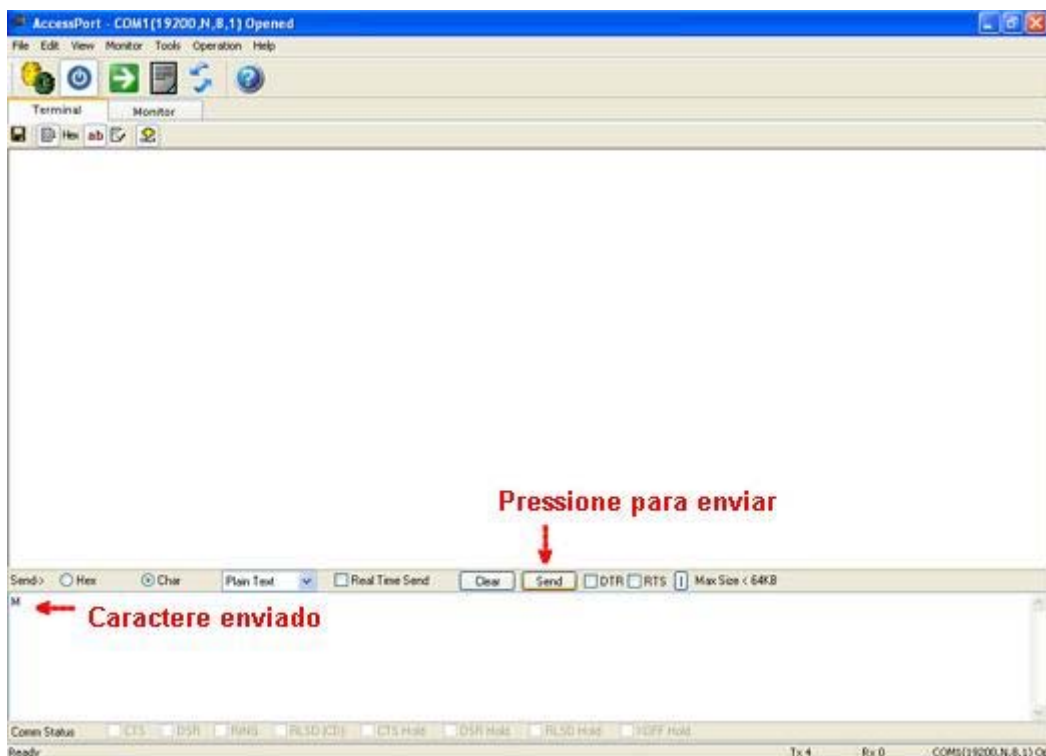


Figura 5.1: Transmissão no AccessPort

No exemplo da figura 5.1 está sendo enviado o caractere "M". O programa AccessPort transforma o caractere "M" no código correspondente ao padrão ASCII, que é 077. Porém, este está em código decimal e para transmitir bit a bit pela porta serial, deve ser utilizada notação binária de oito bits. A notação binária do número decimal 077 é 01001101.

O pino de transmissão da porta serial deve comunicar-se com o pino de recepção do microcontrolador. Como visto no capítulo 2, essa ligação não pode ser feita de modo direto. Deve-se utilizar o padrão de tensões RS-232.



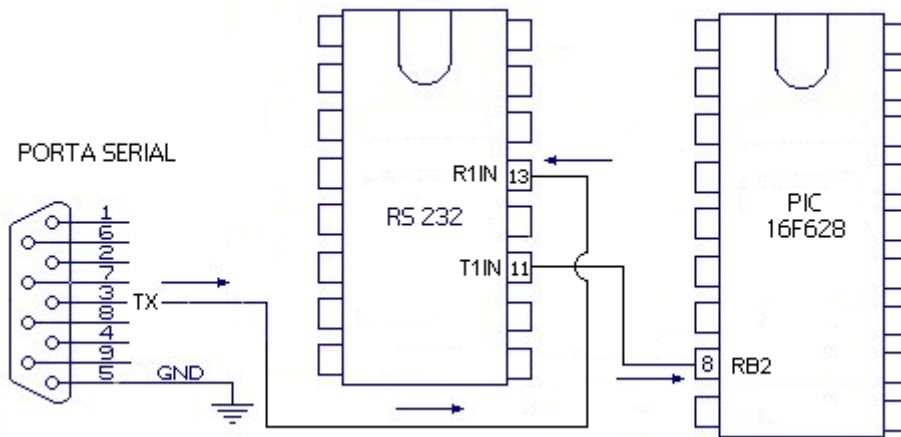


Figura 5.2: Fluxo da mensagem – 1ª Etapa

## 2ª Etapa – Do microcontrolador para o modulador de radiofrequência (transmissor)

Quando os bits chegam ao microcontrolador, é feito um tratamento dos dados para que possam ser enviados. Esse tratamento consiste em fazer um empacotamento dos dados.

Depois do pacote pronto, os dados são enviados de modo serial para o modulador de transmissão.

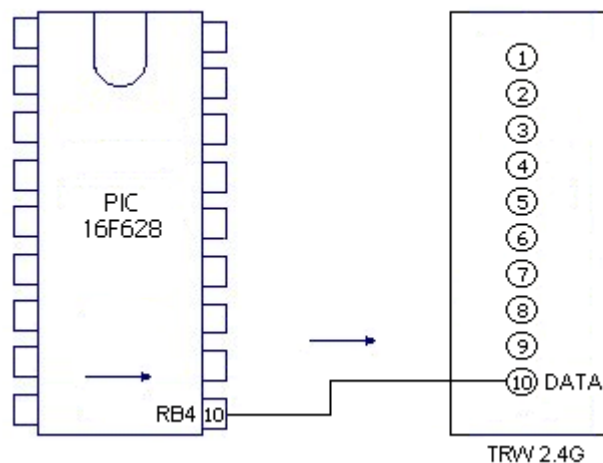


Figura 5.3: Fluxo da mensagem – 2ª Etapa

### **3ª Etapa – Do modulador de radiofrequência (transmissor) para modulador de radiofrequência (receptor).**

Os dados são transmitidos com a frequência 2.4 GHz. Por ser pública, essa frequência é bastante utilizada por vários aparelhos, por isso, é uma frequência onde existe alto índice de ruídos. Para evitar o ruído proveniente dos outros aparelhos, o TRW 2.4 (receptor) capta os sinais e verifica os bits de endereço. Se os bits não forem encontrados ou não corresponderem ao endereço gravado no receptor, os dados são desprezados. Caso a confirmação dos bits de endereço seja positiva, os bits restantes do dado são recebidos e armazenados em um buffer interno.

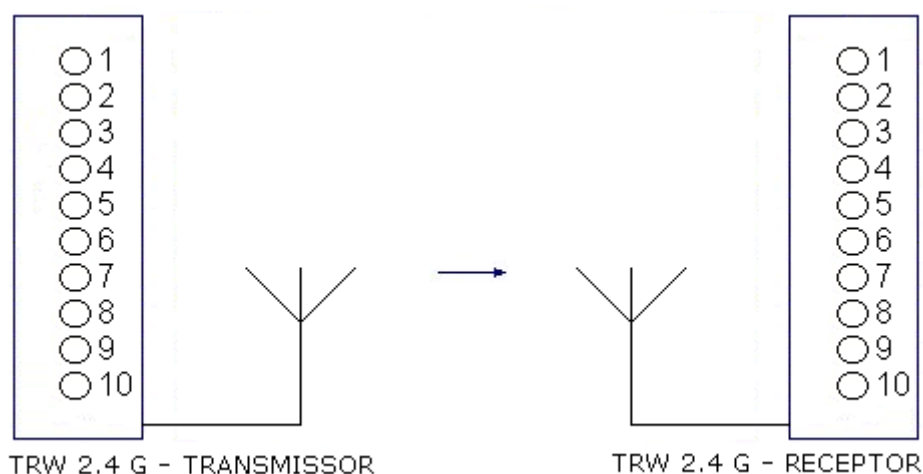


Figura 5.3: Fluxo da mensagem – 3ª Etapa

### **4ª Etapa – Do modulador de radiofrequência (receptor) para microcontrolador.**

Quando os dados são totalmente recebidos e armazenados no buffer interno do modulador, este manda uma mensagem de interrupção para o microcontrolador e logo depois dispara os dados de modo serial. Como os dados de endereço e controle já foram descartados pelo modulador,

não é necessário nenhum tratamento no dado recebido do modulador. Ele apenas é armazenado na memória interna do microcontrolador.

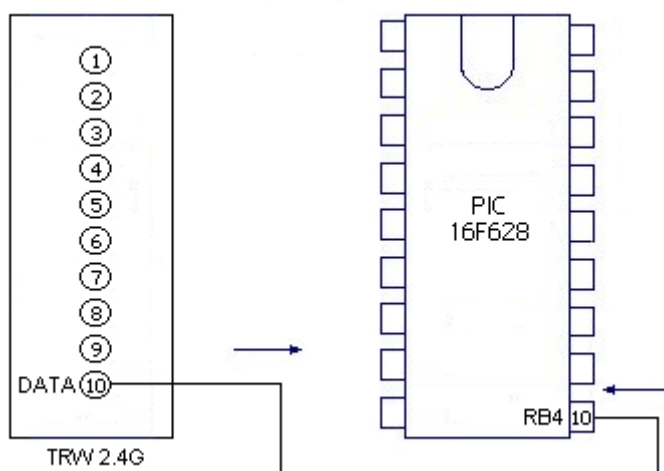


Figura 5.4: Fluxo da mensagem – 4ª Etapa

### 5ª Etapa – Do microcontrolador para o computador.

Os dados são enviados do microcontrolador para a porta serial do computador. Assim como na 1ª etapa, esta transmissão não pode ser feita de modo direto. É necessária a utilização do RS-232.

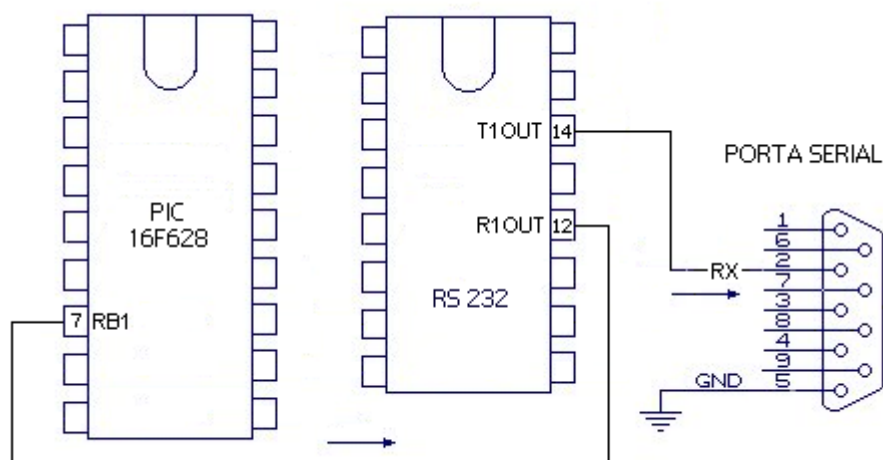


Figura 5.5: Fluxo da mensagem – 5ª Etapa

Finalmente, os dados são exibidos no mesmo programa utilizado para transmiti-los, o AccessPort. Para que os dados sejam corretamente recebidos, a velocidade de transmissão programada no microcontrolador deve ser a mesma configurada no AccessPort.

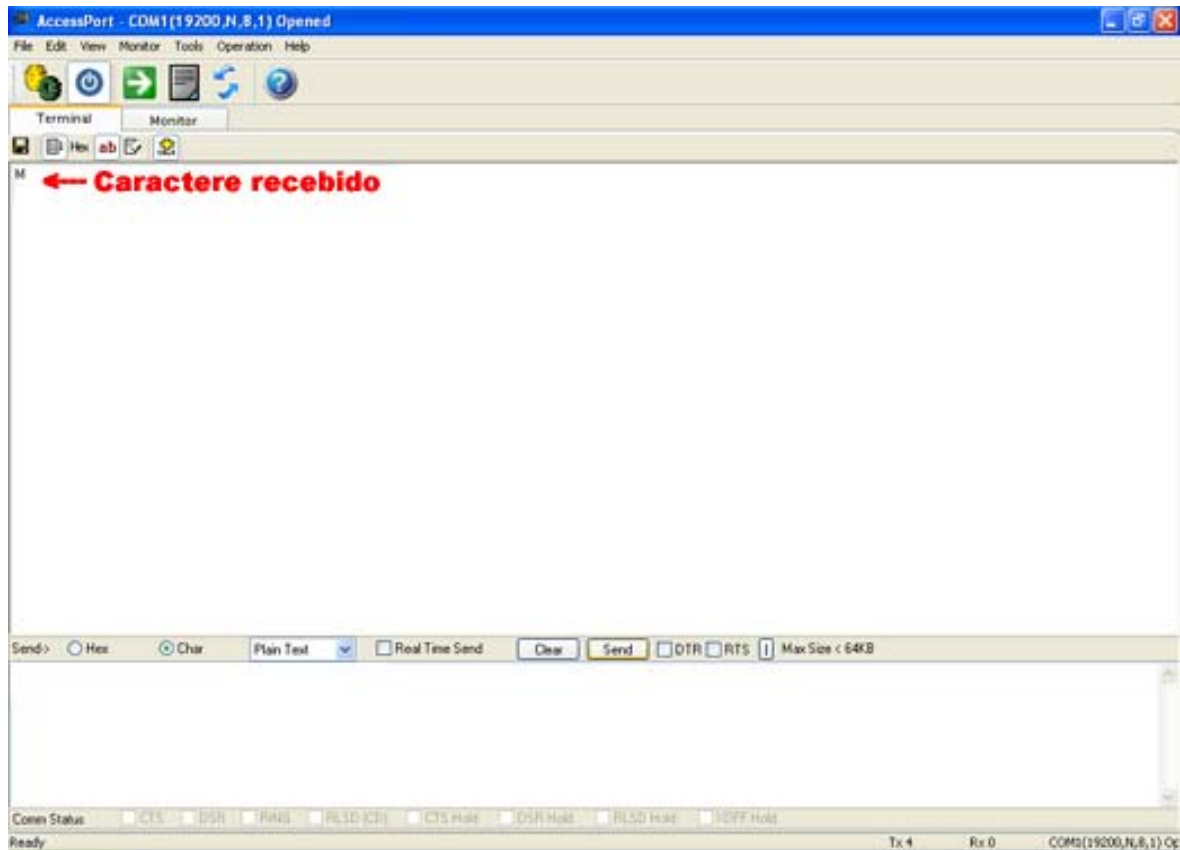


Figura 5.6: Recepção no AccessPort

## 5.3 - Comunicação Serial

A comunicação entre o módulo de comunicação e o computador é feita de modo serial. Essa comunicação é feita conectando os pinos 2 e 3 da porta serial, recepção e transmissão respectivamente e os pinos 7 e 8 do microcontrolador, recepção e transmissão respectivamente.

O microcontrolador possui um módulo de transmissão e recepção de dados chamado USART. Embora uma comunicação serial possa ser implementada totalmente por software, um módulo específico para essa função alivia o software, uma vez que é necessário apenas o programa ler e escrever em alguns registradores, ficando a tarefa pesada, que é a de transmitir e receber os dados, a cargo do módulo USART.

No caso do projeto o módulo USART é configurado como um sistema assíncrono full-duplex, isso permite ao microcontrolador transmitir e receber.

Como o cristal de frequência interna do microcontrolador não é totalmente confiável, é utilizado um cristal oscilador externo de 4 MHz, conectado ao microcontrolador. Para que os dados possam ser transmitidos e recebidos corretamente, é necessário que o microcontrolador e o programa responsável por receber e transmitir dados, estejam configurados com a mesma quantidade de bits por segundo. No caso do projeto essa configuração é de 19200 bits por segundo.

## 5.4 - Funcionamento da comunicação

### 5.4.1 – Transmissão

Para realizar a transmissão, o microcontrolador utiliza e configura os seguintes pinos do TRW 2.4G: CE, CLK1 e DATA. Para transmitir dados, primeiramente deve-se ajustar o pino CE em nível alto, isso faz com que o TRW fique ativo para o processamento de dados. O endereço do receptor e os dados a ser transmitidos são cronometrados no TRW 2.4. Para ativar a transmissão o CE é ajustado em nível baixo. O Pré-Amble é adicionado e o CRC(bits para detecção de erros) é calculado. Os dados são transmitidos em alta velocidade (1Mbps). Após a transmissão, o TRW 2.4 volta ao estado de stand-by.[5]

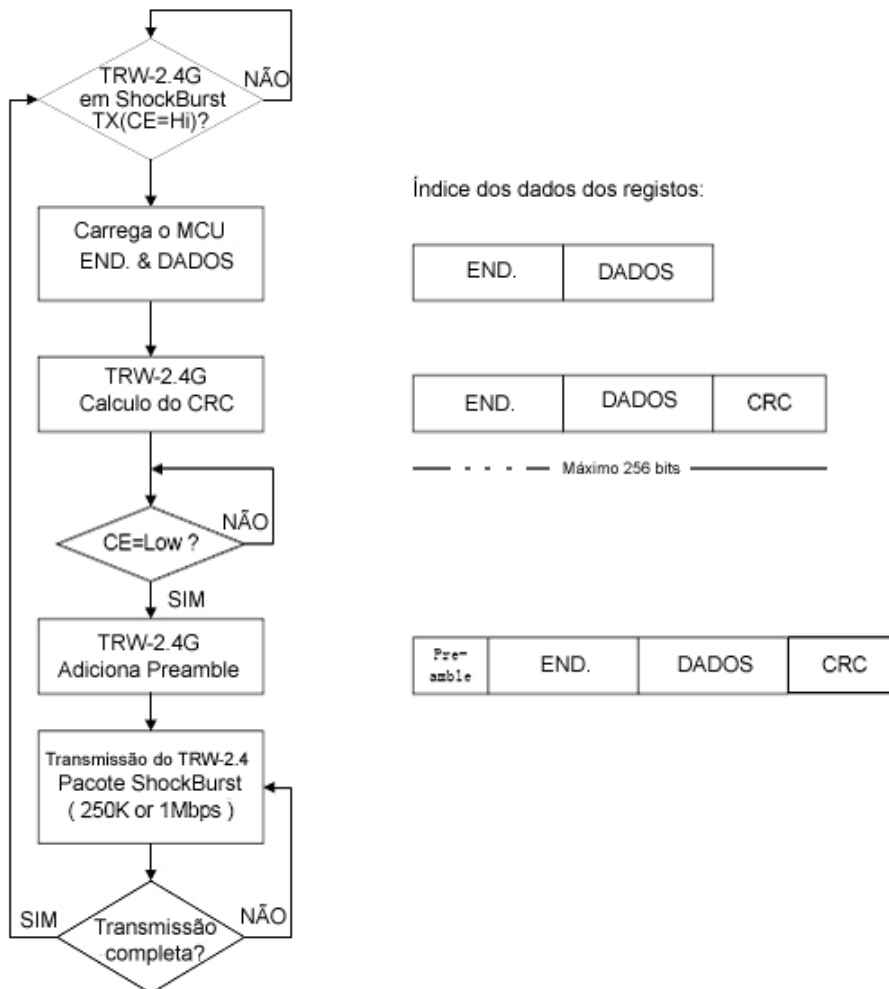


Figura 5.6: Transmissão

## 5.4.2 – Recepção

Para realiza a recepção, o microcontrolador utiliza e configura os seguintes pinos do TRW 2.4G: CE, DR1, CLK1 e DATA. Para ativar o receptor, ajusta-se o CE em alto, o TRW 2.4 G monitora a comunicação de dados no ar. Quando um pacote válido é recebido, o Pré-Amble, o endereço e os bits CRC, são removidos. O TRW faz uma interrupção no microcontrolador para ajustar o pino DR1 para nível alto. O cristal de freqüência do microcontrolador ajusta os dados para uma taxa apropriada. Quando os dados forem totalmente recuperados o TRW ajusta o pino DR1 para nível baixo e o TRW 2.4 está pronto para receber novos dados.[5]

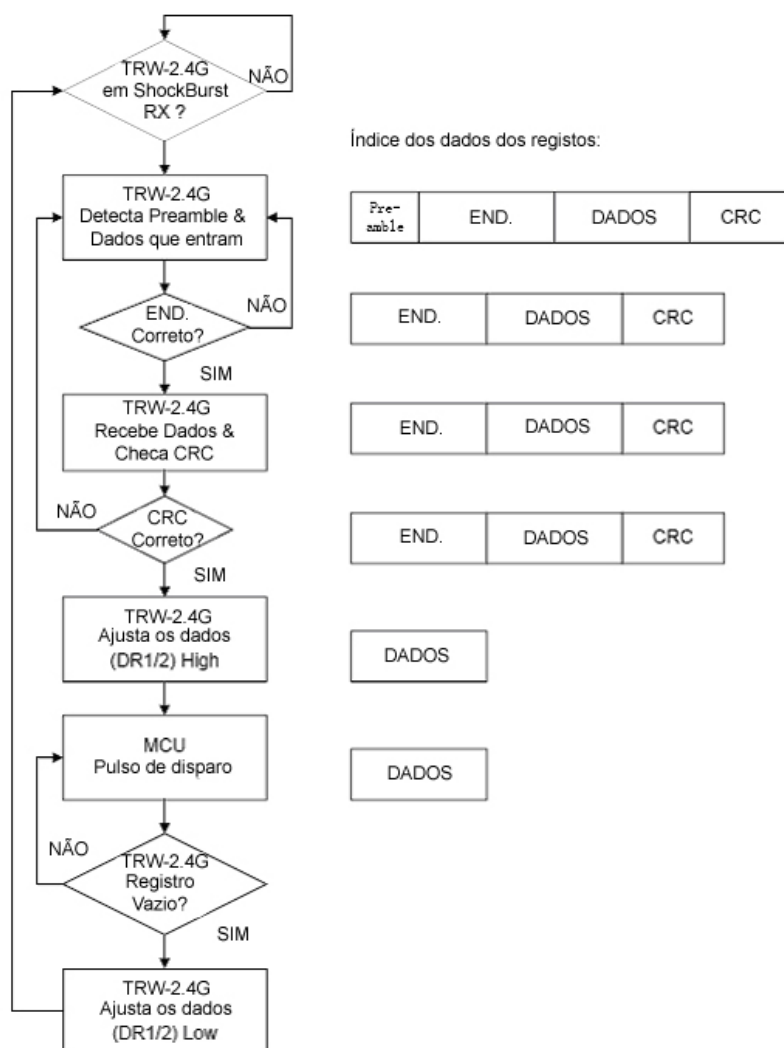


Figura 5.7: Recepção

# Capítulo 6 - Ferramentas e programas desenvolvidos

## 6.1 - Ferramentas de programação

No projeto, o programa que é executado no microcontrolador é gravado em sua memória interna.

Devido a simplicidade na estrutura, a linguagem mais utilizada para a programação em microcontroladores é o Assembly. Porém muitas vezes em programas mais complexos, o código escrito em Assembly pode ficar grande e complicado, por isso, algumas vezes são construídos programas para microcontroladores utilizando a linguagem C. Por utilizar um programa mais complexo, nesse projeto é utilizada a linguagem C.

O programa onde foi feito o código e a compilação é o PICC. É um programa fácil de utilizar, pois depois de escrito o código, basta compilar. Se não houver nenhum erro na linguagem, é gerado um código hexadecimal, pronto para ser gravado na memória interna do microcontrolador.

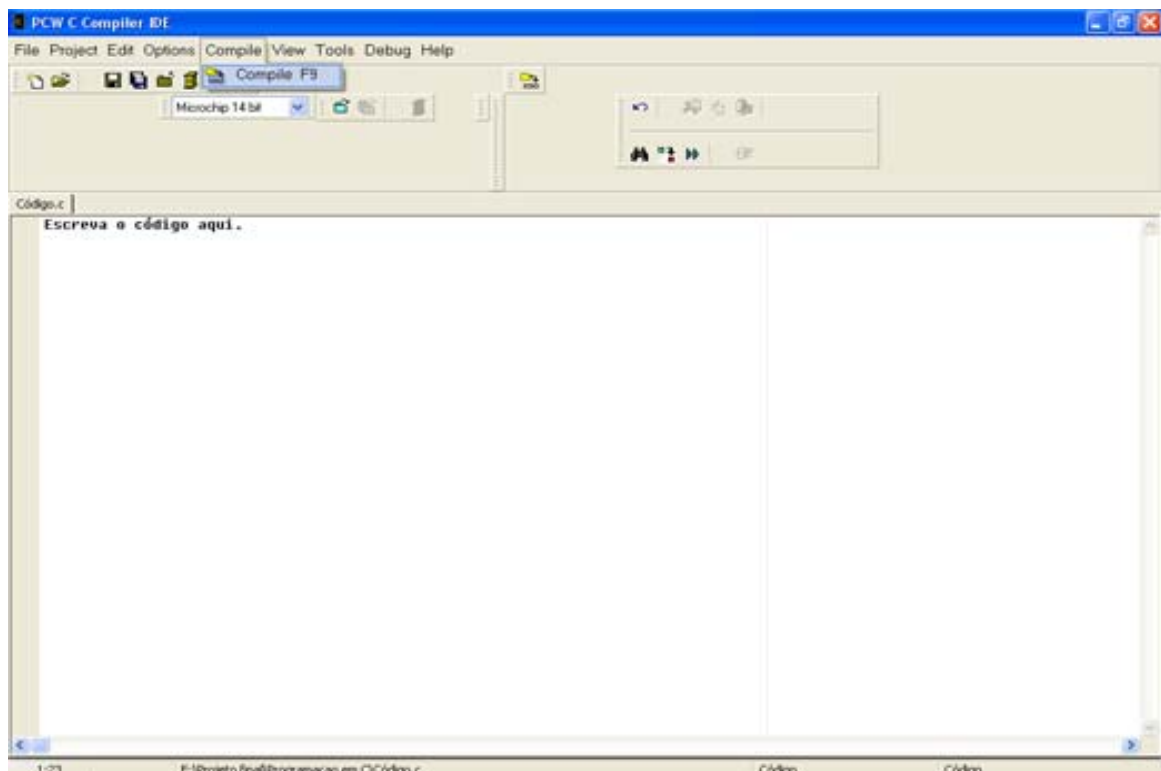


Figura 5.8: Programa PICC



Para gravar o código hexadecimal no microcontrolador foi utilizado o Sniper, um programador de microcontroladores PIC da empresa Exsto Tecnologia. Com esse programador basta inserir o microcontrolador, abrir o programa próprio do Sniper, inserir o código hexadecimal e clicar em Programar.

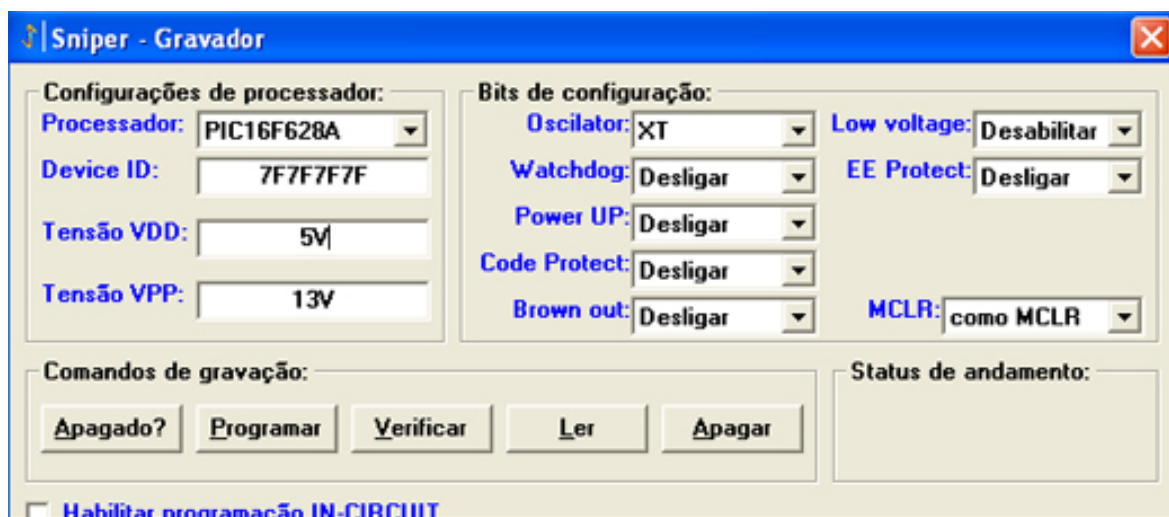


Figura 5.9: Programa Sniper

## 6.2 - Programa desenvolvido

O programa desenvolvido para os dois módulos de comunicação são idênticos e tem as mesmas finalidades, controlar todas as funções de transmissão e recepção da comunicação Wireless presentes nesse projeto.

Quando o microcontrolador é energizado começa a etapa de configuração no microcontrolador. Nesse momento é testado a comunicação entre os pinos do microcontrolador e do transceptor. Caso não haja nenhum problema na comunicação entre o microcontrolador e o transceptor, é disparada a mensagem “O modulador esta configurado” no display do computador onde o módulo está conectado.

Em seguida o módulo entra em estado de recepção onde o modulador é configurado para receber os dados que são captados no ar. É ativado a interrupção por dados seriais que são recebidos pelo microcontrolador, ou seja, toda vez que o computador mandar

os dados através da porta serial para o microcontrolador, a execução atual do microcontrolador é interrompida e realizada as tarefas que estão configuradas na interrupção.

O microcontrolador entra em um loop eterno. Este loop existe para monitorar os dados que são recebidos pelo modulador. No momento em que é recebido um dado válido, o microcontrolador recebe o dado proveniente do transceptor e transmite para o computador. Depois retorna ao loop de monitoramento de recepção de dados.

Caso seja transmitido algum dado do computador para o microcontrolador, a execução atual é interrompida. Neste momento o microcontrolador alterna a configuração do transceptor para transmissão, insere os dados de endereço e controle. Este pacote criado é transmitido para o outro transceptor. Após a transmissão o microcontrolador configura novamente o modulador para o modo de recepção.

## Conclusão

A comunicação de dados sem fio evoluiu bastante nesta última década, tornando sua utilização uma prática viável e barata, podendo competir com outras tecnologias existentes no mercado.

Em um futuro próximo, a comunicação Wireless tende a ser a comunicação predominante entre os diversos tipos de dispositivos eletrônicos existentes atualmente. Como toda tecnologia que se desenvolve tende a diminuir os custos e aumentar a confiabilidade e qualidade, não vai demorar muito para que este tipo de comunicação ultrapasse a linha de custos/benefícios em relação aos sistemas de comunicação que utilizam fios. Em alguns casos, já é mais barato instalar um sistema de comunicação sem fio do que um sistema de comunicação convencional que tenha que quebrar paredes para esconder.

O projeto visou estudar os a comunicação digital sem fio, mostrando as principais tecnologias que a envolvem. Porém o maior enfoque foi no gerenciamento da comunicação utilizando os microcontroladores, além de utilizar um dos equipamentos transceptores, de pequeno porte, mais avançados na atualidade. A combinação destes dois dispositivos torna a comunicação Wireless com aplicações ilimitadas. A partir da comunicação proposta neste projeto é possível com um maior aprofundamento encontrar soluções para a comunicação sem fio entre qualquer dispositivo eletrônico, seja de pequeno ou grande porte. Basta que o dispositivo consiga comunicar-se com o microcontrolador.

Para o futuro é interessante desenvolver módulos de comunicação Wireless utilizando microcontroladores que trabalhem com uma taxa de bits ainda maior. É interessante também criar um padrão de comunicação entre os dispositivos eletrônicos e o microcontrolador que faz parte do módulo de comunicação, para que seja simples e barato, a implementação destes sistemas.

## Trabalhos futuros

A comunicação Wireless utilizando microcontroladores realizado neste trabalho possui um enorme potencial de crescimento.

Basicamente, qualquer dispositivo que seja capaz de comunicar-se com um microcontrolador é capaz também de realizar a comunicação Wireless utilizando o módulo de comunicação proposto no projeto. São exemplos de utilizações dos módulos de comunicação:

- Sistemas de som Wireless. O aparelho de som é conectado a um conversor A/D e este ao módulo de comunicação transmissor. O módulo de comunicação receptor é conectado a um conversor D/A e este conectado às caixas de som que iram reproduzir o som. Devido à capacidade de transmissão do módulo e controle de endereçamento, é possível que nas caixas sejam reproduzidas o som com qualidade de CD a uma distância de até 300 metros
- Automação residencial. Vários dispositivos como interruptores de luzes, aparelhos eletrônicos, ar condicionado, alarmes, etc., podem ser conectados aos módulos. Estes se comunicam com um módulo conectado ao computador central. A partir deste computador é possível controlar todos os dispositivos eletrônicos da casa.
- Controle de fábricas. Todos os sensores e interruptores das maquinas de uma fábrica são conectados a módulos. Estes se comunicam com um modulo conectado a um computador central. A partir desse computador é possível controlar todas as máquinas e perceber se alguma esta com problema.

## Bibliografia

- [1] Souza, Maxuel B. **Wireless, Sistemas de Rede sem Fio.**  
Maxuel Barbosa de Souza.
  
- [2] Nascimento, Juarez. **Telecomunicações.** 2ª edição.
  
- [3] HP Brasil. Disponível em: <h30091.www3.hp.com/pyme/dicas/glosario.html>. Acesso em: 25 dez. 2006.
  
- [4] Beyond Logic. **Interfacing the Serial/RS232 Port.**  
Disponível em: <  
<http://beyondlogic.org/serial/serial.htm> > Acesso em: 14  
abr. 2007.
  
- [5] Laipac Tech. **TRW-2.4G Transceiver Data Sheet.**
  
- [6] Zanco, Wagner S. **Microcontroladores PIC. Uma  
abordagem prática e objetiva.**
  
- [7] Pereira, Fábio. **Microcontroladores PIC – Técnicas  
avançadas**

## Anexo 1 - Código em C do programa gravado no microcontrolador.

```
//Controle do TRW 2.4G
//Autor: Túlio Canut Cunha
//Data: 23/09/06
#include <16F628.h>
//Indica que é utilizado um clock de 4 MHz
#use delay(clock=4000000)
#fuses HS,NOWDT,PUT,BROWNOUT,NOLVP,NOMCLR
//Onde é indicado que é utilizado a comunicação com a porta
serial. O pino
//P1 é utilizado para recepção e o P2 utilizado para a transmissão.
A velo-
//velocidade de transmissão é de 19200.
#use rs232(baud = 19200,
parity=N,xmit=PIN_B2,rcv=PIN_B1,bits=8)
#define TRW_CLK1 PIN_B5 //
#define TRW_CS PIN_B7 //
#define TRW_CE PIN_B3 //
#define TRW_DATA PIN_B4 //
#define TRW_DR1 PIN_B6 //
#define B_TRIS 0b11110000

inline initPorts() {
    port_b_pullups(FALSE);
    disable_interrupts(INT_RB);
}

#define XTAL 4000000
#define IPS (XTAL/4)
#define RTCC_SETUPFLAGS (RTCC_DIV_1 | RTCC_8_BIT |
RTCC_INTERNAL)
#define RTCC_TICKS_PER_MS (IPS / 256 / 1000)
```

```

#define DATA2_W 48 // original

#define DATA1_W 48 // original

#define ADDR2_4 0x00
#define ADDR2_3 0x00
#define ADDR2_2 0x00
#define ADDR2_1 0x42
#define ADDR2_0 0x42

#define ADDR1_4 0x00
#define ADDR1_3 0x00
#define ADDR1_2 0x00
#define ADDR1_1 0x42
#define ADDR1_0 0x42

#define ADDR_W      0b01000000
#define CRC_L       0b00000010
#define CRC_EN      0b00000001

#define RX2_EN      0b10000000
#define CM          0b01000000

#define RFDR_SB     0b00100000

#define XO_F        0b00001100
#define RF_PWR      0b00000011

#define RF_CH       0b11110110 // F6,246, 2,424,600,000 Hz
#define RXEN        0b00000001

#define BUF_MAX 6
byte buf[BUF_MAX];
#define CLKDELAY()
#define CSDELAY()
#define PWUPDELAY() delay_us(999)

```

```

#define BUFFER_SIZE 32 // RF transmit buffer
//-----
void putByte( byte b ) { //msb bit first
    int8 i;
    int8 p = 7;
    for(i=0 ; i < 8 ; i++) {
        output_low(TRW_CLK1);
        if( bit_test(b,p--) ) {
            output_high(TRW_DATA);
        }else{
            output_low(TRW_DATA);
        }
        CLKDELAY();
        output_high(TRW_CLK1); // clock out on rising edge
        CLKDELAY();
    }
}

byte getByte() { //msb bit first
    int8 i , b = 0;
    int8 p = 7;
    for(i=0 ; i < 8 ; i++) {
        output_low(TRW_CLK1);
        CLKDELAY();
        output_high(TRW_CLK1);
        CLKDELAY();
        if( input(TRW_DATA) ) {
            bit_set(b,p--);
        }else{
            bit_clear(b,p--);
        }
    }
    return b;
}

```



```

void trwConfig() {
    output_low(TRW_CE); output_low(TRW_CS);
    output_low(TRW_CLK1); output_low(TRW_DATA);
    PWUPDELAY();
    output_high(TRW_CS);
    CSDELAY();

    putByte(DATA2_W);
    putByte(DATA1_W);
    putByte(ADDR2_4);
    putByte(ADDR2_3);
    putByte(ADDR2_2);
    putByte(ADDR2_1);
    putByte(ADDR2_0);
    putByte(ADDR1_4);
    putByte(ADDR1_3);
    putByte(ADDR1_2);
    putByte(ADDR1_1);
    putByte(ADDR1_0);
    putByte(ADDR_W | CRC_L | CRC_EN);
    putByte(RX2_EN | CM | RFDR_SB | XO_F | RF_PWR);
    putByte(RF_CH | RXEN);
    //lsb byte last

    output_float(TRW_DATA);
    output_low(TRW_CE); output_low(TRW_CS);
    output_low(TRW_CLK1);
}

void trwSetTxByte() {
    output_low(TRW_CE);
    output_high(TRW_CS);
    CSDELAY();
    putByte(RF_CH);
    output_low(TRW_CS);
    output_low(TRW_CLK1);
}

```

```
}
```

```
void trwSetTx() {  
    output_low(TRW_CE); //output_low(PIN_C0);  
    output_high(TRW_CS);  
    CSDELAY();  
    output_low(TRW_DATA);  
    output_high(TRW_CLK1);  
    CLKDELAY();  
    output_low(TRW_CLK1);  
    CLKDELAY();  
    output_low(TRW_CS);  
    output_low(TRW_CLK1);  
}
```

```
void trwSetRxByte() {  
    output_low(TRW_CE);  
    output_high(TRW_CS);  
    CSDELAY();  
    putByte(RF_CH | RXEN);  
    output_low(TRW_CS);  
    output_float(TRW_DATA);  
    output_low(TRW_CLK1);  
    output_high(TRW_CE);  
}
```

```
void trwSetRx() {  
    output_low(TRW_CE);  
    output_high(TRW_CS);  
    CSDELAY();  
    output_high(TRW_DATA);  
    output_high(TRW_CLK1);  
    CLKDELAY();  
    output_low(TRW_CLK1);  
    CLKDELAY();  
    output_low(TRW_CS);  
}
```

```

    output_float(TRW_DATA);
    output_low(TRW_CLK1);
    output_high(TRW_CE);
}

void putBuf() {
    int8 i;
    output_high(TRW_CE); //output_high(PIN_C0);
    CSDELAY();
    putByte(ADDR1_1); putByte(ADDR1_0);
    for( i=0; i<BUF_MAX ; i++) {
        putByte(buf[i]);
    }
    output_low(TRW_CE); //output_low(PIN_C0);
    output_low(TRW_CLK1);
}

void getBuf() {
    int8 i;
    //output_low(TRW_CE); output_low(PIN_C0);
    for( i=0; i<BUF_MAX ; i++) {
        buf[i] = getByte();
    }
    output_low(TRW_CLK1);
    output_high(TRW_CE); //output_high(PIN_C0);
}

//=====
// MAIN – Programa principal

int8 n=0, x, z;
int8 q[BUFFER_SIZE]; // rf transmit buffer
int8 i=0; // add pointer
int8 j=0; // take pointer

```

```

int8 k=0; //
int8 unsent_bytes = 0;

void main() {

    trwConfig();
    printf( "O modulador esta configurado." );
    trwSetRx();    // switch to receive
    delay_ms(1);
    buf[0] = 'A';
    buf[1] = 'B'; // not used
    buf[2] = 'C'; // not used
    buf[3] = 'D'; // not used
    buf[4] = 'E'; // not used
    buf[5] = 'F'; // not used
    enable_interrupts(global);
    enable_interrupts(int_rda);

    // Loop eterno

    while(1) {

        if(input(TRW_DR1)){
            getBuf();
            putc(buf[0]);
        }

        if(i!=j){

            buf[0] = q[j];
            putc(q[j]);
            j++;
            if(j>=BUFFER_SIZE)j=0;
            unsent_bytes--;

            // transmit (RF)

```

```

    trwSetTx();
    delay_ms(1);
    putBuf();
    delay_ms(1);
    trwSetRx();
    delay_ms(1);
}

}

}
//-----

#int_rda
void serial_isr() {
    int8 a;
    a = getchar();
    if(unsent_bytes +1 < BUFFER_SIZE){
        q[i] = a;
        i++;
        if(i >= BUFFER_SIZE) i = 0;
        unsent_bytes++;
    }
}

```

## Anexo 2 - Esquema Elétrico

