

Uma API para desenvolvimento de rotinas de comunicação através de modems GSM/GPRS utilizando microcontroladores PIC

Trabalho de Conclusão de Curso

Engenharia da Computação

Giovane Boaviagem Ribeiro
Orientador: Prof. Sérgio Campello Oliveira



GIOVANE BOAVIAGEM RIBEIRO

**UMA API PARA DESENVOLVIMENTO
DE ROTINAS DE COMUNICAÇÃO
ATRAVÉS DE MODEMS GSM/GPRS
UTILIZANDO MICROCONTROLADORES
PIC**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia da Computação pela Escola Politécnica de Pernambuco – Universidade de Pernambuco.

Recife, Junho de 2010



*ESCOLA POLITÉCNICA
DE PERNAMBUCO*

A minha família, sempre.

Agradecimentos

Agradeço a Deus, por tudo o que fui, sou e serei algum dia.

Agradeço a minha família, pelo apoio incondicional.

Agradeço ao meu orientador, prof^o Sérgio Campello, pelas dicas, conselhos e auxílios, sempre necessários.

Agradeço a Diego Liberalquino, David Edson, Leandro Honorato e a todos que contribuíram direta ou indiretamente com este projeto.

Muito Obrigado.

Resumo

Sistemas embarcados frequentemente precisam enviar dados diversos para estações centrais para as devidas análises e processamentos por parte dos usuários. O grande problema está justamente na comunicação entre o módulo embarcado e a central de processamento, pois dependendo das localizações destes elementos, a comunicação por meios tradicionais, como fibras ópticas por exemplo, pode ser inviável devido a condições do terreno e custos elevados. Sendo assim, uma comunicação por meio da rede celular, é uma alternativa viável, pois eliminaria os problemas relacionados ao terreno e reduziria custos de instalação da rede. Este projeto apresenta uma API que abstrai do programador rotinas de envio e recebimento de dados através de modems GSM/GPRS conectados a microcontroladores PIC, reduzindo as chances de erros na comunicação do módulo com a central, além de reduzir o tempo de desenvolvimento do software embarcado.

Abstract

Embedded systems often need to send data to various central stations for the necessary analysis and processing by users. The big problem is just communication between the module and the embedded central processing, because depending on the locations of these items, disclosure by traditional means such as optical fibers for example, may be infeasible due to ground conditions and high costs. Thus, communication through the cellular network is a viable alternative, because it would eliminate the problems related to land and reduce costs for network installation. This project provides an API that abstracts the programmer routines for sending and receiving data via modems GSM/GPRS connected to PIC microcontrollers, reducing the chances of errors in communication with the central module, and reduce the development time of embedded software.

Sumário

Capítulo 1 Introdução

1.1.Estrutura do documento.....	14
---------------------------------	----

Capítulo 2 Transmissão de dados por redes celulares

2.1.Introdução à transmissão de dados por redes celulares.....	15
2.2.Evolução dos padrões de transmissão por redes celulares.....	18
2.2.1.Primeira geração de padrões (1G).....	18
2.2.2.Segunda geração de padrões (2G).....	19
2.2.3.Transição da segunda para a terceira geração de padrões (2,5G).....	20
2.2.4.Terceira geração de padrões (3G).....	21
2.3.Sistema Global de Comunicação Móvel (GSM).....	24
2.4.Serviço Geral de Rádio por Pacote (GPRS).....	26

Capítulo 3 API de comunicação entre micro-controladores através de modems GSM/GPRS

3.1.Tecnologias envolvidas.....	31
3.1.1.Comandos AT.....	31
3.1.2.O modem SIM-340DZ.....	32
3.2.O arquivo gprs.h.....	36
3.2.1.Funções de inicialização.....	39
3.2.2.Funções de verificação.....	39

3.2.3.Funções de envio/recebimento.....	40
3.2.4.Funções auxiliares.....	41
3.3.O ambiente de testes.....	41
3.3.1.Circuito de alimentação.....	42
3.3.2.Circuito para o pino VCHG.....	43
3.3.3.Circuito para o pino VRTC.....	44
3.3.4.Circuito para o SIM Card	45
3.3.5.Outros circuitos.....	45
3.3.6.Placa de circuito impresso obtida.....	47

Capítulo 4 Conclusão e Trabalhos Futuros

4.1.Trabalhos futuros.....	49
----------------------------	----

Índice de Figuras

Figura 1. Componentes de uma rede celular.....	16
Figura 2. Exemplo de codificação de sinal utilizando sequência direta (TELECO).....	23
Figura 3. Arquitetura básica de uma rede GSM com GPRS.....	29
Figura 4. Diagrama funcional do modem GSM/GPRS SIM-340DZ.....	33
Figura 5. Circuito de alimentação da placa de testes.....	43
Figura 6. Circuito de alimentação do pino VCHG.....	44
Figura 7. Circuito de alimentação do pino VRTC.....	44
Figura 8. Circuito de alimentação do SIM card.....	45
Figura 9. Circuito de alimentação do pino PWRKEY.....	46
Figura 10. Circuito de saída do pino NETLIGHT.....	47
Figura 11. Desenho da placa de circuito impresso.....	48

Índice de Tabelas

Tabela 1. Comparação dos diferentes tipos de células.....	17
Tabela 2. Faixas de frequência disponíveis para o GSM (Brand).....	25
Tabela 3. Modificações necessárias na rede GSM para suportar o GPRS.....	30
Tabela 4. Relação dos pinos que foram utilizados no projeto.....	34
Tabela 5. Lista de comandos AT utilizados no projeto.....	37

Tabela de Símbolos e Siglas

API – Application Programming Interface

CDMA – Code Division Multiple Access

EDGE – Enhanced Data Rates for Global Evolution

FDM – Frequency Division Multiplex

GPRS – General Package Radio System

GSM – Group Special Mobile

PIC – Peripherals Integrated Controller

SIM – Subscriber Identity Module

SMS – Short Message System

TDM – Time Division Multiplex

Capítulo 1

Introdução

Sistemas embarcados em microcontroladores frequentemente precisam enviar dados diversos para centrais de processamento, para que o usuário possa monitorar e avaliar o desempenho do sistema remotamente. A grande questão é que, para sistemas que operam em áreas remotas, a comunicação entre a central de processamento e o módulo embarcado pode ser custosa ou ainda ser inviável por meio terrestre, devido a dificuldades como composição do terreno, obstáculos naturais, intervenções de animais, sem falar dos custos financeiros dos equipamentos, instalação, etc. Uma alternativa a este cenário seria utilizar a comunicação via rádio, uma vez que os custos financeiros e de instalação são menores, as intervenções naturais ao equipamento são bastante reduzidas, além da segurança na transmissão da informação, etc.

Neste contexto, a utilização da rede de telefonia celular, através do Serviço de Rádio de Pacote Geral (GPRS, do inglês *General Packet Radio Service*), é uma alternativa interessante dada a grande abrangência dessa rede no território nacional, além de outras vantagens, como velocidade, disponibilidade, acesso rápido a serviços, etc. Para a realização dessa comunicação, é necessário o uso de comandos específicos do modem a ser trabalhado, além da interface entre o microcontrolador e o modem. As rotinas de configuração e o aprendizado no uso desses comandos podem tornar o desenvolvimento do módulo embarcado mais demorado, além de tornar a sua elaboração mais suscetível a erros por parte do desenvolvedor.

Neste projeto foi iniciado o desenvolvimento de uma Interface de Programação Aplicada (API, do inglês *Application Programming Interface*) que possibilite a abstração, por parte do programador, de rotinas que envolvam

diretamente a interface do PIC com o modem GSM/GPRS. Desse modo, o desenvolvedor terá mais condições de aperfeiçoar e implementar as funcionalidades específicas do módulo a ser desenvolvido, ganhando produtividade e desempenho. A API será desenvolvida na linguagem C, compilado pela ferramenta PCW (CCS), e o microcontrolador utilizado no protótipo será um PIC modelo 16F4550.

1.1. Estrutura do documento

Este documento se divide em 4 capítulos, incluindo este. O capítulo 2 tratará das tecnologias envolvidas na aplicação do projeto. Ele contém todo o embasamento teórico do projeto. O capítulo 3 mostrará em detalhes a API desenvolvida, descrevendo os módulos que a compõem, bem como o detalhamento do protótipo de testes, e os resultados de experimentos obtidos com a aplicação da API neste protótipo de testes. O capítulo 4 Mostrará as conclusões obtidas no desenvolvimento deste projeto, bem como os trabalhos futuros a serem desenvolvidos para melhorar o projeto proposto.

Capítulo 2

Transmissão de dados por redes celulares

Este capítulo descreverá toda a fundamentação teórica utilizada no embasamento do projeto. Na seção 2.1, será descrita uma pequena introdução a transmissão de dados pela rede celular. Na seção 2.2, será descrita uma evolução dos padrões de transmissão celular. Na seção 2.3 será abordado o padrão GSM, e por fim, na seção 2.4, será abordado o serviço GPRS.

2.1. Introdução à transmissão de dados por redes celulares

Uma transmissão de dados é do tipo celular quando a informação trafega por uma rede onde a área geográfica, na qual ela se insere, está dividida em sub-áreas denominadas *células*. Cada célula possui uma Estação Rádio Base (ERB) que se interconecta fisicamente com as outras estações, formando a rede. Cada ERB é capaz de enviar e receber dados, via ondas de rádio, de estações móveis (aparelhos celulares, por exemplo) dentro de sua célula. “A área de cobertura de uma estação-base depende de vários fatores, incluindo potência de transmissão da estação-base, potência de transmissão da estação móvel, obstáculos, como edifícios, na célula, e altura das antenas da estação-base” (Kurose, pág 473). Além dos fatores citados anteriormente, as condições naturais do terreno onde a ERB será instalada também é um fator que determinará a área de cobertura da estação. A Figura 1 mostra os principais componentes de uma rede celular. A área de cobertura de cada ERB (célula) é representada por um hexágono (na maioria dos casos), porque um

hexágono é o polígono regular com maior número de lados que se encaixam perfeitamente uns com os outros. Com isso, aproxima-se bastante do modelo de transmissão real, que é circular ou esférico, para antenas omnidirecionais.

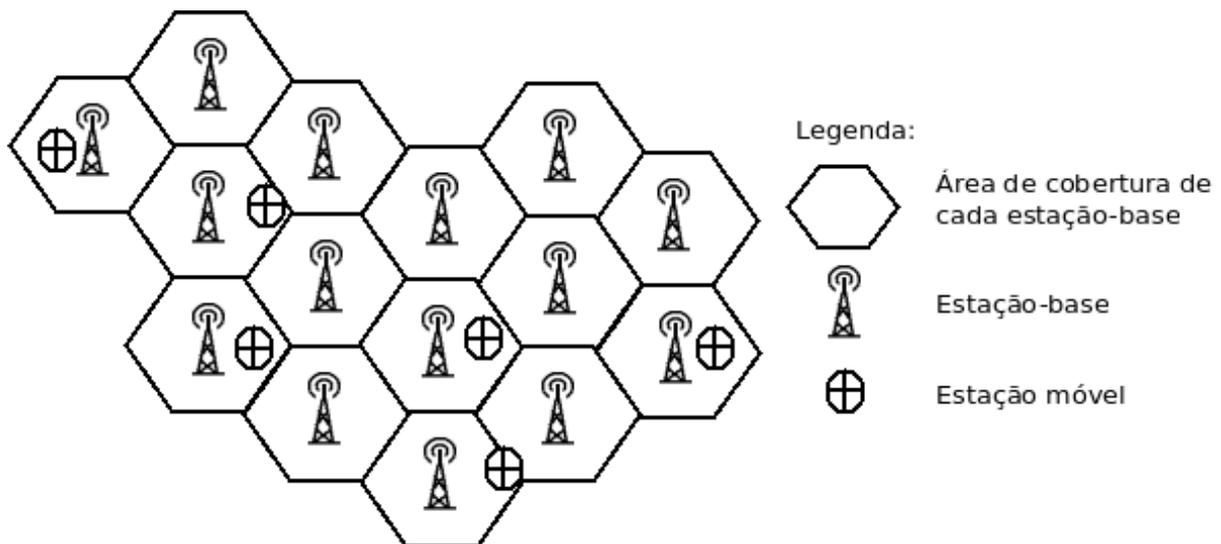


Figura 1. **Componentes de uma rede celular.**

Em uma célula, podem ocorrer diversas chamadas simultâneas, obtidas compartilhando uma porção do espectro de rádio destinada a cada provedora de serviço celular. Atualmente, os sistemas celulares utilizam as seguintes abordagens para prover este compartilhamento de espectro:

- Combinação de multiplexação por divisão de frequência (FDM) e multiplexação por divisão de tempo (TDM);
- Acesso múltiplo por divisão de código (CDMA).

A transmissão de dados através de redes celulares é uma alternativa interessante e viável de comunicação, devido principalmente a sua praticidade de utilização, uma vez que grande parte da população utiliza este tipo de comunicação. Porém, existem algumas limitações neste tipo de transmissão de dados. Uma delas

é o aumento do fenômeno conhecido como *handoff* ou *handover*, que ocorre quando uma estação móvel troca de uma célula para outra (Kurose, pág 431). Deste modo, a rede precisa realizar um novo roteamento, o que provoca uma queda no desempenho (Brand, pág 24). O aumento de *handoffs* é causado pela quantidade de ERBs que precisam ser adicionadas a uma determinada região, devido ao aumento da demanda gerada pelos usuários. Estas ERBs são compostas por antenas de menor potência, o que aumenta a quantidade de células, e conseqüentemente, o de *handoffs*.

Apesar de ser possível uma rede com células fixas, ou seja, não hierárquicas, não enfrentaríamos de modo eficiente os *handoffs*, pois uma redução ou aumento das células não evita a mudança de estações entre células. Para minimizar a queda de desempenho criada pelos constantes *handoffs*, foi necessária a criação de uma topologia de rede, onde células diferentes são implantadas hierarquicamente, de forma a atender a demanda de *handoffs* com perdas mínimas, e ainda prover uma cobertura universal de transmissão de dados.

Como podemos ver na tabela 1, cada tipo de célula atende a uma área específica e própria para sua capacidade de atuação, fazendo com que a rede possua perdas mínimas.

Tabela 1. Comparação dos diferentes tipos de células.

	Área de atuação	Diâmetro aproximado
<u>Picocélula</u>	Ambientes fechados	Dezenas de metros
<u>Microcélula</u>	Centros urbanos, estradas	Um quilômetro
<u>Macro célula</u>	Grandes áreas, sejam urbanas, ou não	Dezenas de quilômetros

2.2. Evolução dos padrões de transmissão por redes celulares

Segundo Brand (Brand), um bom padrão de transmissão de dados via redes móveis precisa atender aos seguintes critérios:

- Utilizar os recursos disponíveis de forma eficiente, a fim de poupar a infraestrutura de possíveis desgastes e elevar os custos de manutenção da rede;
- Os procedimentos de *handoff* devem ser feitos de forma rápida e requerer o mínimo de sinal, para que a rede não seja comprometida com uma carga muito alta destes procedimentos;
- O padrão deve suportar diversas camadas de rede para poder dar suporte a hierarquia de células.

Nos sub-tópicos seguintes, veremos como os padrões de comunicação evoluíram até chegar aos dias de hoje. Todos eles tentaram atender aos critérios citados acima. E de certa forma, conseguiram, mas não de forma tão satisfatória, devido principalmente aos custos elevados de desenvolvimento.

2.2.1. Primeira geração de padrões (1G)

Esta geração de padrões, proposta e utilizada entre os anos 70 e 80, se caracterizou por fornecer transmissão de voz, apenas, com flexibilidade limitada. O primeiro padrão da 1G, foi o Sistema de Telefonia Móvel Avançado (AMPS, do inglês *Advanced Mobile Phone System*), de origem americana. Depois, vieram o NMT (Nordic Mobile Telephone System) e o TACS (Total Access Communication System), ambos desenvolvidos na Suécia. Em geral, boa parte dos padrões de

comunicação móvel da primeira geração tiveram sua origem na Europa e eram derivados principalmente de tecnologias FDMA.

A qualidade da voz que se ouvia dos dispositivos móveis que utilizavam estes padrões era no máximo razoável, devido a qualidade da transmissão afetada pelas transmissões de controle que utilizavam o mesmo canal de transmissão da voz. Apesar disso, os padrões foram bem aceitos pela população, que passou a utilizar este serviço de transmissão intensamente.

2.2.2. Segunda geração de padrões (2G)

A segunda geração de padrões de comunicação móvel buscou, principalmente, uma variedade maior de serviços a serem utilizados pelos usuários. Para isso, foi adotada uma transmissão digital de dados, em substituição a transmissão analógica da geração anterior. Em comparação aos padrões 1G, o 2G trouxe as seguintes vantagens:

- Aumento da segurança, com a utilização de encriptação e autenticação de usuários para prever acesso não autorizado ao sistema, garantindo assim a privacidade.
- Integração de voz e dados, com canais dedicados para a troca de informações de controle da rede entre os terminais móveis e fixos, a fim de superar as limitações dos padrões 1G.

Existiram outros padrões 2G que também ganharam espaço no mercado, como o *TDMA Interim Standard 136* (TDMA IS-136), que foi um sistema evoluído do FDMA 1G e esteve amplamente difundido na América do Norte, e o *CDMA Interim Standard 95* (CDMA IS-95), que utilizava acesso múltiplo por divisão de código para transmitir os dados. Foi utilizado na América do Norte e Coréia. Também merece destaque o Celular Pessoal Digital (PDC, do inglês *Personal Digital Cellular*), o

primeiro padrão digital popular do Japão. Ele foi mais tarde complementado pelo Sistema pessoal de telefonia portátil (PHS, do inglês *Personal Handyphone System*), e se tornou um padrão híbrido entre móvel e sem-fio, que era atendido somente com baixa mobilidade. Ambos os padrões são baseados em TDMA. O que causou seu sucesso foi primeiramente suas taxas de transmissão (32 kbps, passando mais tarde para 64 kbps), e o serviço *i-mode*, que permitia uma conexão à Internet (Brand).

2.2.3. Transição da segunda para a terceira geração de padrões (2,5G)

Esta fase de padrões foi uma transição entre a segunda e terceira gerações de padrões. Apesar dos avanços obtidos com o uso de tecnologias digitais nos padrões 2G, estes ainda enfrentavam problemas com relação a comunicação de dados (Brand). Porém, antes mesmo do lançamento do 2G, a comunidade científica já procurava meios de contornar esses problemas e criar os ambientes necessários para uma terceira geração de sistemas móveis.

O problema é que com a consolidação do 2G no mercado, os investidores não se interessavam muito em abandonar esse padrão, já que para a implementação do 3G, seria necessária a substituição de toda a infra-estrutura do 2G. Por isso, para continuar o desenvolvimento do 3G (levando em consideração que existia uma demanda crescente por melhorias nos padrões existentes, principalmente no que dizia respeito a transmissão de dados), os desenvolvedores encontraram dois caminhos a serem seguidos. Um deles seria a construção do 3G de tal forma que houvesse um reuso da infra-estrutura 2G existente. No caso do padrão UTMS, mostrado mais adiante, isto ocorreu, pois ele utiliza a estrutura da rede GSM existente. O outro caminho seria desenvolver o 2G de modo a atender os pré-requisitos da rede 3G. Estes requisitos serão abordados no próximo tópico.

Sendo assim, foram desenvolvidos vários serviços e padrões que buscassem fornecer uma base para a implementação do 3G. Dois dos principais serviços estão descritos a seguir:

- Serviço Geral de Rádio por Pacote (GPRS, do inglês *General Packet Radio Service*): É uma evolução do GSM que aloca uma faixa de tempo entre transmissões de voz, para transmissão de dados. É fornecido por uma rede GSM;
- Melhores Taxas de Dados para Evolução Global (EDGE, do inglês *Enhanced Data Rates for Global Evolution*): O principal objetivo do EDGE é aumentar as capacidades e confiabilidades da transmissão de dados. É uma evolução do GPRS, e por isso, não há um consenso sobre em qual geração ele se encontra. Beddel (Beddel) considera uma tecnologia de terceira geração, enquanto Kurose (Kurose), considera um padrão de geração 2,5.

O maior destaque dos sistemas 2,5G é o GSM. A sigla ficou inicialmente como *Group Spécial Mobile*. Mais tarde, ela foi mudada para *Global Systems Mobile Communications*. Este padrão surgiu como uma evolução ao CDMA simples. A seção 2.3 descreverá o padrão GSM com mais detalhes.

2.2.4. Terceira geração de padrões (3G)

A terceira geração de padrões de sistemas celulares deve prover comunicação de voz e de dados segundo as seguintes taxas:

- 144kbps em velocidades de trânsito;
- 384kbps para uso em ambiente externo, ou velocidades de quem anda a pé;

- 2Mbps para uso interno.

O desenvolvimento de melhorias nos padrões 3G atualmente é responsabilidade do Projeto de Parcerias da Terceira Geração (3GPP, do inglês *Third Generation Partnership Project*), porém, antes da 3GPP estar consolidada, a ETSI (Instituto de Padrões de Telecomunicações Europeias, tradução de *European Telecommunications Standards Institute*) foi a pioneira na padronização dos sistemas 3G. Esta primeira padronização foi chamada de Serviço Universal de Telecomunicação Móvel (UTMS, do inglês *Universal Telecommunications Mobile Service*) e estabeleceu uma série de requisitos que seriam necessários para que um sistema 3G fosse implementado. Para o escopo deste trabalho, só serão descritas duas das quatro categorias de requisitos UTRA (*UTMS Terrestrial Radio Access*, Acesso UTMS por rádio terrestre). São elas: Requisitos operacionais, e complexidade e custo (Brand). As outras categorias de requisitos, são capacidades de barreira, quando o sinal consegue ser flexível ao utilizar equipamentos de outras operadoras, e eficiência na utilização do espectro de frequência.

Requisitos Operacionais

- Compatibilidade com serviços que as redes oferecem (serviços de suporte a redes ATM, serviços GSM, serviços ISDN, etc);
- Planejamento automático de recursos de rádio, caso tal planejamento seja necessário.

Complexidade e custo

- O desenvolvimento e custo dos equipamentos devem ser mantidos a níveis razoáveis, levando em consideração o custo das células, as conexões de rede associadas a cada célula, e a carga de tráfego suportada por esta rede.

Sistemas 2,5G terão dificuldades para cumprir as exigências 3G por possuírem uma infra-estrutura inadequada. O máximo que eles conseguirão é fornecer um apoio eficiente para serviços multimídia com taxa de bits variável.

O padrão 3G de maior destaque hoje é o UTMS, que é uma evolução do GSM. Parte do seu sucesso é devido a reutilização da rede GSM existente, reduzindo custos de tempo e implementação. Porém, para cumprir os requisitos 3G necessários, o UTMS utiliza uma técnica de acesso diferente do GSM. Enquanto este utiliza uma combinação de FDMA e TDMA, o UTMS utiliza uma técnica CDMA chamada CDMA de Banda Larga de Seqüência Direta, onde o sinal de informação é multiplicado por um sinal codificador pseudo-randômico. Essa técnica possibilita uma maior capacidade de transmissão, porém, fornece maiores dificuldades para resolver problemas de interferência, além de elevar os custos dos equipamentos (TELECO) (Brand).

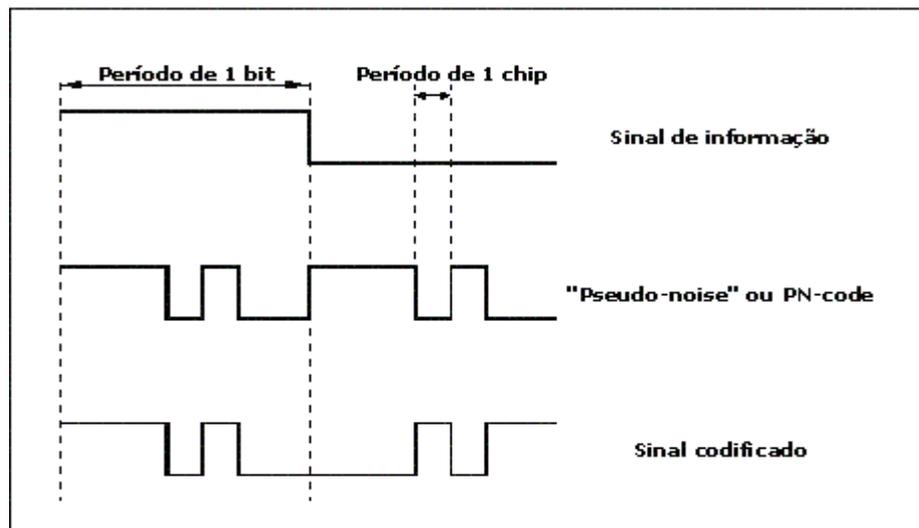


Figura 2. Exemplo de codificação de sinal utilizando seqüência direta (TELECO).

2.3. Sistema Global de Comunicação Móvel (GSM)

O Sistema Global de Comunicação Móvel (do inglês *Global System for Mobile Communications*), é atualmente o padrão de telefonia móvel mais utilizado e difundido em todo o mundo. No Brasil, são mais de 158 milhões de aparelhos utilizando esta tecnologia (TELECO).

A necessidade de se desenvolver um padrão de telefonia móvel para a Europa era incontestável e urgente, pois existiam seis padrões diferentes, onde não havia uma compatibilidade de aparelhos com todos os padrões. Tudo isso levou a um esforço para se desenvolver o GSM, que foi iniciado na *Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications* (CEPT), em 1982, com a formação do *Groupe Spécial Mobile*. Este grupo ficaria responsável por desenvolver um padrão digital de transmissão de dados via rádio para a Europa, a uma taxa de 900MHz. Em 1988, o European Telecommunications Standards Institute (ETSI) foi criado com a tarefa de cuidar da evolução do GSM. O ETSI é formalmente responsável por esta evolução, porém o trabalho técnico atualmente é feito pelo Third Generation Partnership Project (3GPP), no qual o ETSI faz parte.

O GSM foi desenvolvido em duas fases. A primeira fase foi completada em 1989 e os primeiros sistemas entraram em operação em 1991. O sucesso foi tanto, que em 1996 já existiam trinta e cinco milhões de usuários do novo sistema (Beddel). A segunda fase foi lançada em 1994. Estas duas fases proveram suporte para transmissão de voz e serviços complementares, utilizando comutação de circuitos em 9.6Mbps e o sistema de envio de mensagens (*Send Message System*, SMS). Nos *upgrades* seguintes de desenvolvimento, os chamados *releases*, foram adicionados mais serviços ao GSM, como:

- Serviços de comutação de circuitos

- Recursos avançados de chamada (teleconferência, por exemplo)
- Introdução ao serviço de comutação de pacotes.

Este padrão de telefonia é baseado em acesso múltiplo por divisão de tempo, com multi-portadora, e divisão de frequência (MC/TDMA/FDD). Ou seja, a transmissão GSM se dá em várias faixas de frequência (ver tabela 2), com cada faixa sendo dividida em frames TDMA, que por sua vez são divididos em oito slots, denominados *bursts*. Onde cada *burst* carrega alguma informação. O formato e o tipo de informação que cada *burst* carrega depende do tipo de canal (físico ou lógico) ao qual ele pertence.

Tabela 2. Faixas de frequência disponíveis para o GSM (Brand).

Frequência de banda do GSM	Frequências disponíveis	Onde está disponível
400MHz	450.4-457.6MHz pareados com 460.4-467.6MHz ou 478.8-486MHz pareados com 488.8-496MHz	Europa
800MHz	824-849MHz pareados com 869-894MHz	América
900MHz (incluindo a banda estendida do GSM)	880-915MHz pareados com 925-960MHz	Europa, Ásia Oriental, África
1800MHz	1710-1785Mhz pareados com 1805-1880MHz	Europa, Ásia Oriental, África
1900MHz	1850-1910MHz pareados com 1930-1990MHz	America

De acordo com padrão, a rede GSM está arquitetada sobre subsistemas bem definidos. Segue abaixo uma pequena descrição destes subsistemas.

Subsistema da estação-base

É o sistema de acesso a rede GSM. É composto por uma estação rádio-base (ERB), responsável por enviar e receber os dados vindo do ar, de delimitar a área da célula, e controlar os protocolos de transmissão; e um controlador, que possui a tarefa de gerenciar as ERBs, além de gerenciar também o mecanismo de *handoff*.

Subsistema da rede

Responsável por interconectar os subsistemas de estação-base com a rede principal. É composta principalmente de *switches*.

Subsistema de operações e suporte

Responsável por monitorar e controlar a rede GSM. Este sistema pode detectar falhas em estações-base e apresentar os equipamentos que serão necessários para reparar a falha.

Subsistema da estação móvel

É o telefone (ou estação móvel) em si. O destaque aqui é o Módulo Identificador do Assinante (SIM, do inglês *Subscriber Identity Module*), sistema que possui as funções de armazenamento, gerenciamento e decodificação dos dados presentes na estação móvel. Geralmente esses dados são guardados em dispositivos denominados SIM Cards (os famosos “chips” dos aparelhos celulares, disponibilizados pelas operadoras).

2.4. Serviço Geral de Rádio por Pacote (GPRS)

Um dos grandes problemas envolvendo o GSM, é que a rede não suporta bem transmissões que envolvam grandes volumes de dados (uma conexão a

Internet, por exemplo). Uma das causas é a lentidão em se estabelecer o circuito virtual na criação da conexão, e além disso, como o dispositivo precisa ficar conectado durante muito tempo, pois as taxas de transmissão são relativamente baixas, o usuário paga mais pela conexão, pois passa mais tempo conectado do que o necessário.

O serviço GPRS leva a comutação de pacotes para as redes GSM. Como este serviço provê um tempo muito curto de acesso real a rede, o usuário só irá pagar pelo somatório dos tempos reais de acesso, e não pelo tempo da conexão total, como acontecia no cenário GSM anterior. O GPRS pode utilizar até oito canais de comunicação (dependendo do dispositivo), que são disponibilizados por demanda de pacotes a serem recebidos ou enviados. Os pacotes ainda podem ser recebidos em tempos ociosos de chamadas de voz, com canais separados para *uplink* e *downlink*. A comunicação GPRS pode ser ponto-a-ponto, ou multiponto, com taxa máxima teórica de 160Kbps, utilizando os oito canais, e sem correção de erros.

GPRS proporciona uma grande quantidade de serviços, oferecidos em aplicações móveis. No geral, os tipos de aplicações mais comuns que utilizam GPRS estão listados a seguir:

- Comunicações (E-mail, fax, SMS, acesso a internet);
- Jogos;
- E-commerce;
- *Location Based Applications* (softwares de navegação, basicamente).

Um conceito importante neste universo é o de terminal GPRS. Um terminal é qualquer equipamento (telefone celular, roteador) que está inserido em um ambiente GPRS. Um terminal pode pertencer a três classes distintas: A classe A engloba os terminais que suportam GPRS e qualquer outro serviço fornecido pelo GSM (SMS, por exemplo) simultaneamente. Este suporte inclui simultâneas ativações,

monitoramentos e tráfegos, podendo estes terminais receber e fazer chamadas de forma simultânea. Os terminais pertencentes a classe B são capazes de monitorar tráfego GSM e GPRS, mas só podem utilizar um destes serviços por vez. Ou seja, terminais classe B podem suportar simultâneas ativações e monitoramentos, mas não tráfegos. Terminais classe C só oferecem suporte a ativações não-simultâneas. O usuário deverá escolher o serviço do qual ele deseja se conectar. Com isso, um terminal pertencente a esta classe só poderá fazer ou receber chamadas do serviço selecionado (manualmente ou padrão). O suporte SMS para terminais desta classe é opcional. O modem GSM/GPRS adquirido para a placa de circuito impresso proposta para os testes da API pertence a classe A, pois ele é capaz de suportar GSM e GPRS ao mesmo tempo. A vantagem desta classe está justamente na versatilidade de serviços que podem ser utilizados. Deste modo, a API proposta poderá abranger uma quantidade maior de funcionalidades para atender os recursos do modem utilizado.

A arquitetura do serviço GPRS é mostrada na Figura 3. No núcleo da rede se encontram os Centros de Comutação de serviços Móveis (MSC, do inglês *Mobile-services Switching Centers*), criados para gerenciar as comutações de circuitos. Para habilitar o GPRS em uma rede GSM, é necessário a adição de dois equipamentos, os nós de suporte do GPRS, descritos a seguir.

- Nó de suporte ao servidor GPRS (SGSN, do inglês *Serving GPRS Support Node*): Essencialmente, é um comutador de pacotes. Ele pode detectar estações novas, registrar esta nova estação e passar a guardar seus registros. O SGSN se conecta com a estação-base através de uma unidade de controle de pacotes (PCU, do inglês *Package Control Unit*), responsável pela interface da estação-base com a rede, para transmissão de pacotes de dados.
- Nó de suporte ao gateway GPRS (GGSN, do inglês *Gateway GPRS Support Node*): É usado como interface para redes externas, como por exemplo a Internet, outros serviços móveis, como outras redes GPRS.

Um único GGSN pode conectar vários SGSNs, armazenando informações de roteamento, mapeamento e endereçamento dentro da rede.

Além da inclusão destes dois equipamentos, ainda são necessárias outras mudanças na rede GSM. A tabela 3 relaciona todas estas mudanças.

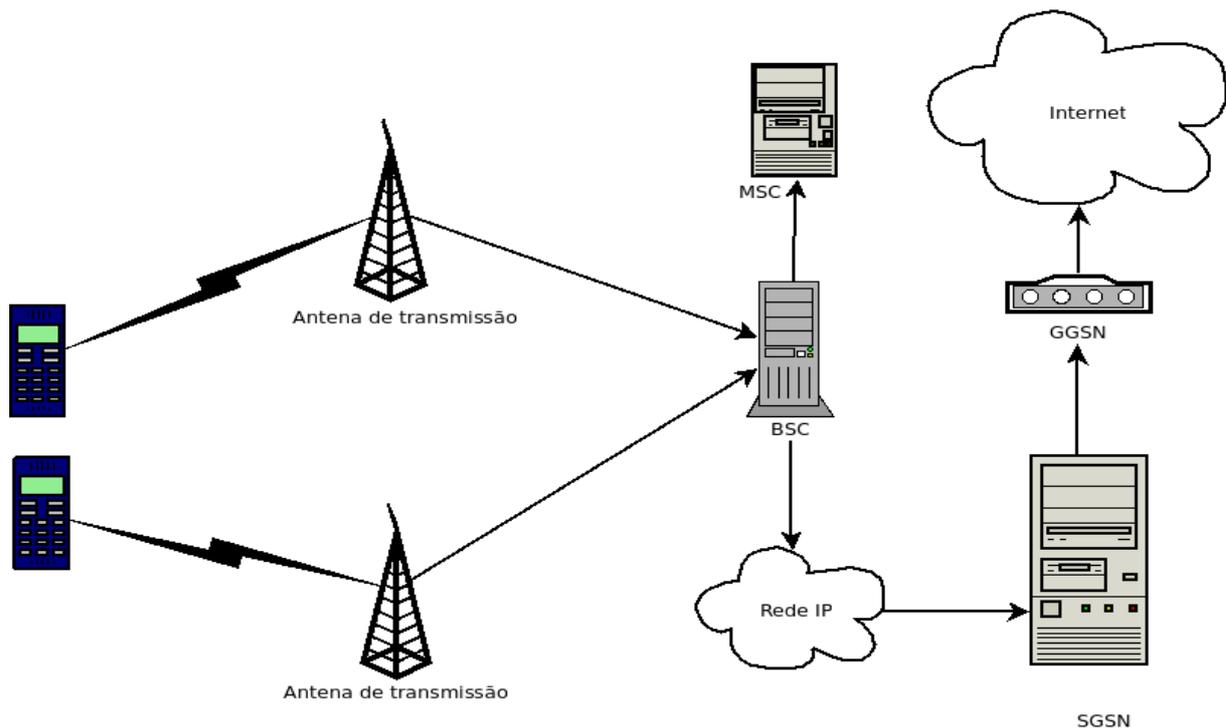


Figura 3. Arquitetura básica de uma rede GSM com GPRS.

Tabela 3. Modificações necessárias na rede GSM para suportar o GPRS.

Equipamento	Modificações requeridas
Terminal do assinante (Subscriber Terminal)	Deverão ser substituídos por terminais compatíveis com o GPRS
Software do Tranceptor base (BTS)	É necessário um upgrade de software para uma versão preparada para o GPRS.
Controlador da estação base (BSC)	Também necessita de um upgrade de software, além da instalação de um PCU (Package Controller Unit), para gerenciar o tráfego de dados na rede
Núcleo da rede	Deverão ser instalados no núcleo da rede, os nós SGSN e GGSN.
Bases de dados, como o Registro de localizações de visitantes (VLR), ou o Registro de Localizações Locais (HLR)	Qualquer base de dados da rede GSM deverá passar por upgrades para suportarem funções GPRS

Capítulo 3

API de comunicação entre micro- controladores através de modems GSM/GPRS

Este capítulo descreverá a API que foi desenvolvida para abstração das rotinas de comunicação entre microcontroladores utilizando modems GSM/GPRS. A seção 3.1 descreverá as tecnologias envolvidas no desenvolvimento do projeto. A seção 3.2 mostrará a API desenvolvida: Um arquivo de biblioteca C para microcontroladores. Por último, será descrito na seção 3.3 o ambiente de testes proposto para os testes envolvendo a API desenvolvida.

3.1. Tecnologias envolvidas

Neste tópico serão apresentadas as tecnologias envolvidas no desenvolvimento da API proposta, tanto para a etapa de software, quanto para o hardware projetado para os testes da API.

3.1.1. Comandos AT

Comandos AT são instruções utilizadas para executar operações diversas em modems GSM/GPRS. Todos os dispositivos móveis que operam em redes GSM utilizam estes comandos para efetuar suas operações. Os comandos AT seguem o padrão requisição/resposta, onde a resposta é composta por duas partes: A

resposta propriamente dita do comando e a confirmação de que a requisição chegou ao destino em bom estado, ou não. Um comando AT é formado por 3 componentes:

- Prefixo: Indica para o modem qual o tipo de comando que será interpretado. No nosso caso, o prefixo sempre será “AT” (ou “at”), abreviatura de Attention. Existe uma exceção: O prefixo “A”, também significa um comando AT para o modem. É o comando para re-enviar o último comando AT digitado.
- Corpo: Descreve a instrução que o modem executará. Uma descrição dos comandos AT utilizados neste projeto pode ser conferido na seção 3.2.
- Caractere final: Caractere que finaliza o modem. Por padrão, é o caractere <CR> (retorno de carro, do inglês *carriage return*), cuja codificação em hexadecimal é “0x0d”. Simboliza uma quebra de linha.

3.1.2. O modem SIM-340DZ

O modem utilizado para os testes da API foi um modem GSM/GPRS SIM-340DZ, fabricado pela SIM Com (SIM Com). O aparelho consegue operar em quatro bandas GSM (900/1800MHz e 850/1900MHz), e suporta quatro codificações GPRS (CS-1, CS-2, CS-3 e CS-4). O hardware utiliza um encapsulamento SMD de 48 pinos, sendo:

- Nove pinos de aterramento (GND);
- Dois pinos de alimentação (VBAT);
- 1 pino de Entrada/Saída de propósito geral, para ser utilizado de forma livre pelo desenvolvedor;

- Dois canais de áudio, incluindo duas entradas de microfones e duas saídas para alto-falantes. Estes canais podem ser facilmente configurados via comandos AT;

O modem provê ainda interface para antena de rádio frequência e comunicação serial, além da integração com protocolo TCP/IP, além de outros recursos, como interfaceamento com displays LCD e SIM Card. Um diagrama funcional do modem pode ser visualizado na Figura 4.

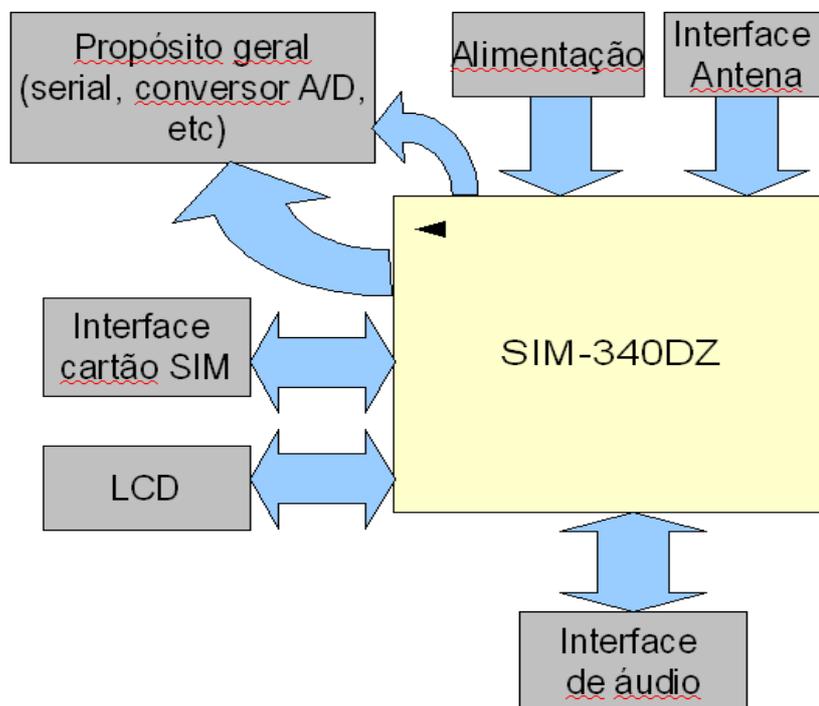


Figura 4. Diagrama funcional do modem GSM/GPRS SIM-340DZ.

Para este projeto, não foram utilizadas as interfaces para displays LCD, audio e pinagens de uso geral. A tabela 4 mostra os pinos do modem que foram utilizados na elaboração do projeto.

Tabela 4. Relação dos pinos que foram utilizados no projeto.

Numeração	Nome	Descrição
3	RXD	Recebe o dado vindo da porta serial
4	TXD	Transmite o dado pela porta serial
6	SIM_DATA	Saída de dados do SIM Card
7	SIM_CLK	Clock do SIM card
8	SIM_RST	Pino de reset do SIM card
9	SIM_VDD	Alimentação do SIM card
11	RI	Indicador de anel
12	PWRKEY	Pino que liga o modem (“ON/OFF”)
15	VRTC	Alimentação reserva do clock
17, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 37	GND	Pino 0V (Terra)
22	AGND	Pino 0V do conversor A/D
28	VCHG	Responsável por alimentar o circuito de carga da bateria de íon-lítio
33	ANTENNA	Entrada do sinal da antena de rádio-frequência
38,39	VBAT	Alimentação do modem.
41	NETLIGHT	Pino que indica atividade na rede
42	DCD	Linha de controle do modem para a porta serial
43	DTR	Pino que indica que a porta serial está pronta para o uso
44	RTS	Pino de requisição para o envio de dados pela

		porta serial
45	CTS	Pino de requisição para a limpeza de dados através da porta serial

O modem SIM-340DZ possui 6 modos de operação distintos, que são alterados por meio de mudanças de nível lógico em pinos específicos, como o VCHG ou ainda o PWRKEY, em um período longo de tempo pré-determinado, ou por comandos AT. Segue abaixo um resumo destes modos de operação. Para este projeto, o modem só operará em dois modos, o modo normal e o modo de *power down*.

- Modo normal: Modo mais comum de operação e também o que possui o maior número de funcionalidades. Através dele, o modem realiza suas operações de transmissão de dados através de GSM ou utilizando o GPRS. O destaque aqui é que ele possui um modo SLEEP, que é executada automaticamente quanto o modem sente que não há atividade nas interfaces de áudio ou interrupções, ou ainda, quando o pino DTR está em nível lógico alto.
- Modo Power Down: Modo onde o modem é desligado. Isto pode ser feito através de uma mudança no pino PWRKEY para nível lógico baixo por um tempo maior do que dois segundos, ou ainda por comandos AT. Neste modo, todas as operações do modem são desativadas, exceto o carregamento do circuito de alimentação reserva do clock.
- Modo de funcionalidades mínimas: Este modo é ativado somente por um comando AT específico, o "AT+CFUN". Neste modo o SIM card e a antena de rádio-frequência ficam desativados, ou não são acessíveis. A interface serial permanece ativa.

- Modo GHOST: Modo exclusivo para recarga da bateria de íon-lítio. Este modo só poderá estar ativo se o modo anterior do modem for o modo normal, ou o modo de *power down*. Para o primeiro caso, cinco volts devem passar pelo pino VCHG e o modem deve ser desligado pelo comando AT “AT+CPOWD”. No segundo caso, cinco volts devem passar pelo pelo pino VCHG, enquanto o modem é desligado.
- Modo alarme: Modo onde o modem é ligado automaticamente em um determinado tempo. Porém, com funcionalidades reduzidas, pois o clock é alimentado pela carga limitada do circuito que passa pelo pino VRTC.
- Modo de carga durante operações normais: Neste modo, o modem inicia a carga da bateria de íon-lítio enquanto realiza as operações normais (envio de pacotes pela rede, por exemplo).

3.2. O arquivo gprs.h

O arquivo gprs.h é o arquivo que comporta as funções pertencentes a API. É escrito na linguagem C, com poucas diretivas de compilação, para poder ser compatível com a maioria dos compiladores existentes sem grandes alterações no arquivo. Para este projeto, o arquivo foi compilado utilizando o CCS, compilador próprio para microcontroladores PIC (CCS). A decisão de implementar todas as funções em um único arquivo foi feita por questões de portabilidade da API, uma vez que ainda são desconhecidas técnicas para criar arquivos de bibliotecas para microcontroladores, ou seja, arquivos equivalentes a Bibliotecas de Ligação Dinâmica (DLL, do inglês *Dinamic Link Library*). O arquivo é inteiramente documentado de acordo com o padrão doxygen (Doxygen), que é um padrão semelhante ao javadoc, podendo ser gerada a documentação através deste sistema.

Como o ambiente de testes não ficaria pronto em tempo hábil para o desenvolvimento da API, foi necessário utilizar o modem GSM/GPRS presente em um telefone celular comum para testar os comandos AT necessários para a elaboração da biblioteca. Foi utilizado um telefone celular marca Nokia, modelo 7100, para os testes. Este celular foi conectado ao computador através de uma conexão serial via bluetooth, já que o cabo USB do celular não estava disponível no momento dos testes. Os resultados foram satisfatórios, já que todos os comandos enviados para o modem presente no telefone, foram executados com sucesso. Após esta fase de testes, foi feita uma migração para o ambiente embarcado, com a criação das funções que manipulam estes comandos. A tabela 5 mostra os comandos que foram utilizados pelas funções presentes na API.

Tabela 5. Lista de comandos AT utilizados no projeto.

Comando	Descrição	Resposta esperada
AT	Verifica se o modem está devidamente conectado	OK
AT+CSQ	Verifica a qualidade do sinal de transmissão	+CSQ: X,Y, onde x é a qualidade do sinal em uma escala de 0 a 30, e y é a faixa de frequência do sinal (Alguns modems podem não ser totalmente compatíveis com este comando, neste caso, y exibirá o valor 99. O valor x é exibido normalmente)
AT+CMGF	Altera o formato da mensagem SMS. Há duas opções possíveis: 0, que representa o modo PDU (padrão do modem),	OK

	e 1, que representa o modo texto (utilizado no projeto)	
AT+CMGS	Envia um SMS. O parâmetro deste comando é o número do SIM Card de destino da mensagem. Após isso, é ativado um prompt, onde a mensagem é digitada. Para completar o envio, o usuário deverá digitar a combinação de teclas ctrl+z	OK

As funções estão divididas em 4 grupos, divididos pela funcionalidade: Funções de inicialização, funções de verificação, funções de envio/recebimento e funções auxiliares. O detalhamento destes grupos de funções é mostrado nas subseções seguintes. Com exceção das funções auxiliares e das funções de inicialização, todos os outros grupos de funções utilizam comandos AT para realizar a comunicação do microcontrolador com o modem GSM/GPRS. As funções que utilizam estes comandos os enviam através da porta serial, e armazenam as respostas geradas por estes comandos em um buffer, onde serão analisadas.

Apesar do êxito na utilização destes comandos em um ambiente de testes alternativo (utilizando computador e um telefone celular ligados através de comunicação serial), ainda não foi possível testar o arquivo gprs.h em um ambiente microcontrolado porque o ambiente de testes (a placa de circuito impresso contendo o modem GSM/GPRS) não ficou pronto até a data final de entrega desta monografia, apesar de seu projeto esquemático e desenho das trilhas impressas estar concluído.

3.2.1. Funções de inicialização

São funções que inicializam todos os elementos da API (buffers, índices e o telefone de destino). Este bloco é composto de apenas uma função, a `gprsInit(char *numDest)`, onde `numDest` é a string que representa o número do SIM Card de destino das mensagens enviadas pelo modem. Ela não retorna nenhum valor.

3.2.2. Funções de verificação

São funções que realizam operações de monitoramento das atividades do modem. As funções de verificação implementadas, são:

- `short existeModem(void)`: Verifica se o modem está conectado ao microcontrolador. Respostas possíveis: 0, se não existir algum modem conectado ao microcontrolador, ou 1, em caso contrário.
- `int existeSinal(void)`: Verifica a qualidade do sinal de transmissão do modem. Existem aqui quatro respostas possíveis:
 - -1: Não há conexão com o modem (comportamento análogo a função anterior)
 - 0: Nenhum sinal
 - 1: Sinal fraco
 - 2: Sinal regular
 - 3: Sinal bom

3.2.3. Funções de envio/recebimento

São as funções responsáveis pelo envio e recebimento de dados através do modem. A API só envia e recebe três tipos de dados pela rede: conjuntos de caracteres(strings), inteiros, e de ponto flutuante. As funções estão descritas a seguir.

- `short enviaString(char *str)`: Responsável por enviar um conjunto de caracteres pela rede. `*str` representa a string a ser enviada. A função retorna 0, se a operação for mal sucedida, ou 1, em caso contrário.
- `char *recebeString(void)`: Responsável por receber um conjunto de caracteres pela rede. A função retorna a string que foi recebida pelo modem.
- `short enviaInt(int x)`: Responsável por enviar um número inteiro pela rede. `x` representa o número a ser enviado. A função retorna 0, se a operação for mal sucedida, ou 1, em caso contrário.
- `int recebeInt(void)`: Responsável por receber um número inteiro pela rede.
- `short enviaFloat(float f)`: Responsável por enviar um número de ponto flutuante pela rede. `f` representa o número a ser enviado. A função retorna 0, se a operação for mal sucedida, ou 1, em caso contrário.
- `float recebeFloat(void)`: Responsável por receber um número de ponto flutuante pela rede.

3.2.4. Funções auxiliares

Como o nome diz, são funções que auxiliam as outras funções em suas atividades. O uso destas funções torna a API mais limpa e clara, facilitando seu entendimento. As funções são:

- `void limparBuffer()`: Responsável por tornar todos os elementos do buffer serial iguais ao caractere '0'.
- `void carregarBuffer()`: Responsável por armazenar no buffer o valor presente na porta serial.
- `int indexOf(char *string, char c)`: Retorna o índice da primeira ocorrência do caractere `c`, na string `string`
- `char *substring(char *str, int limiteInicial, int limiteFinal)`: Retorna uma parte da string original `str`, cujos limites são definidos por `limiteInicial` e `limiteFinal`.

3.3. O ambiente de testes

O ambiente de testes consiste em uma placa de circuito impresso contendo o modem SIM-340DZ, além dos circuitos necessários para alimentação, porta serial, etc. O desenho esquemático da placa, assim como o desenho das trilhas foi feito utilizando a ferramenta EAGLE (CadSoft), por possuir recursos que permitem ao usuário criar seu próprios componentes, caso tal componente não exista no banco de componentes do software. As sub-seções seguintes detalham os circuitos que compõem a placa.

3.3.1. Circuito de alimentação

O circuito de alimentação da placa está descrito na Figura 5. O modem GSM/GPRS utilizado no projeto possui uma tensão de entrada entre 3,4 e 4,5 volts. Por isso, existe a necessidade de um componente que faça com que a tensão inicial do circuito (que está em 12 volts) caia até o valor aceito pelo modem. Esse componente é o regulador de tensão ajustável MIC29302WT. Os resistores de 100 e 43K ohms garantem uma tensão de saída de aproximadamente 4,12 volts, que está dentro da margem aceita pelo modem. A relação entre os resistores e a tensão de saída é obtida através da fórmula:

$$R_1 = R_2 \left(\frac{V_{out}}{1.240} - 1 \right) \quad (1)$$

Onde R_1 corresponde ao resistor que conecta os pinos OUT e ADJ. No caso, é o resistor de 100K ohms. R_2 corresponde ao resistor que conecta o pino ADJ ao terra. No caso, é o resistor de 43K ohms.

O modem quando está em operação, pode solicitar alta potência, gerando picos de corrente de até dois ampéres. Neste caso, o circuito de alimentação deve estar apto a trabalhar com estes valores de corrente. Isso é obtido com os capacitores de 100 micro e 100 nF, colocados em paralelo. A bateria de íon-lítio é conectada diretamente no fio que leva ao pino VBAT. A tensão que deve passar por esta conexão deve ser ajustada com cuidado para que não danifique a bateria, podendo até causar a explosão desta.

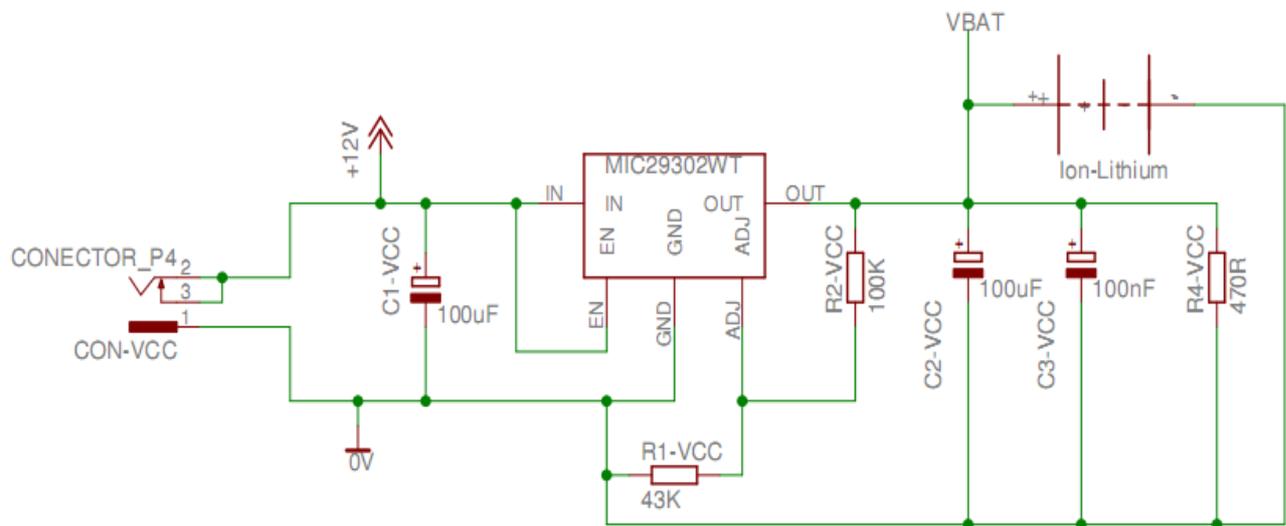


Figura 5. Circuito de alimentação da placa de testes.

3.3.2. Circuito para o pino VCHG

O pino VCHG é responsável pela recarga da bateria. Obrigatoriamente, este pino deverá ser alimentado com uma tensão de cinco volts. Por isso, a necessidade de um regulador de tensão para a tensão de entrada, que é de 12 volts. Para este projeto, foi utilizado o regulador 7805, como está mostrado na Figura 6. O conector da alimentação externa, que é um do tipo P4, não é o mesmo da alimentação do modem. Isto foi feito com a intenção de separar os dois circuitos e para facilitar o roteamento das trilhas da placa.

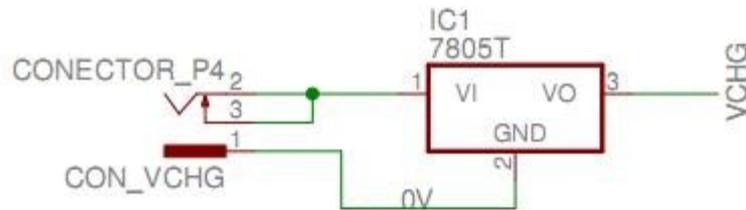


Figura 6. Circuito de alimentação do pino VCHG

3.3.3. Circuito para o pino VRTC

O pino VRTC é responsável pela alimentação de emergência do clock do modem. O *datasheet* do SIM-340DZ sugere três alternativas de circuitos para o pino VRTC. A primeira, é a utilização de uma bateria não recarregável aterrada, ligada em série a um diodo. A segunda é a utilização de uma bateria recarregável aterrada ligada diretamente ao pino VRTC. A terceira alternativa é mostrada na Figura 7. Um capacitor eletrolítico de alta capacitância aterrado ligado diretamente ao pino. Esta alternativa foi escolhida pelo baixo custo e facilidade de manutenção, em caso de falha.

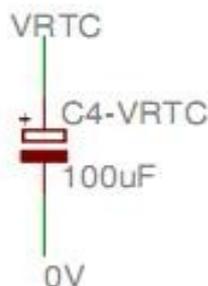


Figura 7. Circuito de alimentação do pino VRTC.

3.3.4. Circuito para o SIM Card

A Figura 8 mostra o circuito de alimentação do SIM Card. O modem aceita os dois tipos de voltagens de SIM Card disponíveis: 1,8 e três volts. Para proteger o circuito de correntes altas, diodos zener são colocados em cada linha do circuito, além dos resistores de 22 ohms. Para a linha que leva ao pino SIM_VDD, que é a alimentação elétrica do SIM Card, ainda é necessário um capacitor de 220 nF aterrado para garantir a proteção. Para a linha SIM_DATA, onde serão trafegadas as informações oriundas do chip, é adicionado um resistor de pull-up de 10K ohms. Para fixar o SIM card na placa, será utilizado um soquete modelo SCW-2523XD-06.

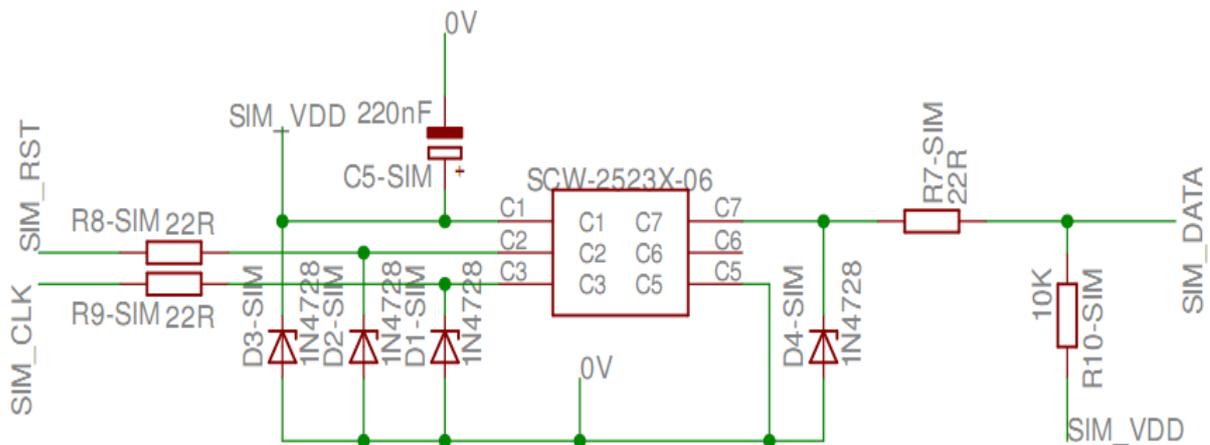


Figura 8. Circuito de alimentação do SIM card.

3.3.5. Outros circuitos

Ainda existem outros dois circuitos que merecem destaque na placa de testes desenvolvida. Um deles é o circuito que alimenta o pino PWRKEY, mostrado na Figura 9. O PWRKEY funciona como uma chave liga/desliga do modem e é ativado em nível lógico baixo. Quando o botão for ativado, fará com que o transistor gere um pulso em nível lógico baixo. Porém, esse pulso deverá durar mais do que dois segundos, para que o PWRKEY possa efetuar a ativação do modem.

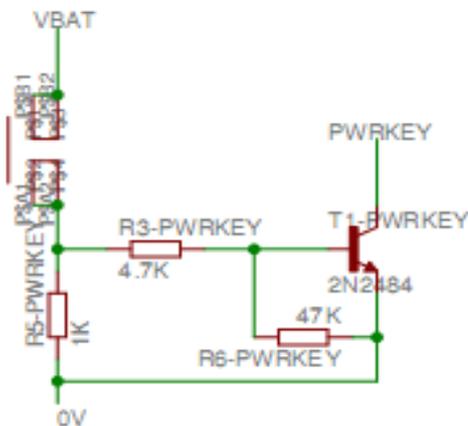


Figura 9. Circuito de alimentação do pino PWRKEY.

O segundo circuito é mostrado na figura 10. Trata-se do circuito que controla o LED indicador de atividade na rede, acionado pelo pino NETLIGHT. Este pino opera em nível lógico baixo, de modo que o LED acenderá quando houver um *pulldown* neste pino. O LED irá operar sobre quatro estados distintos, a saber:

- LED apagado: O modem não está realizando nenhuma atividade de transmissão de dados via rede;
- LED operando em um ciclo de 64 ms aceso e 800 ms apagado: O modem não está encontrando a rede GSM;
- LED operando em um ciclo de 64 ms aceso e 3000 ms apagado: O modem encontrou a rede GSM;
- LED operando em um ciclo de 64 ms aceso e 300 ms apagado: O modem está realizando uma transmissão GPRS.

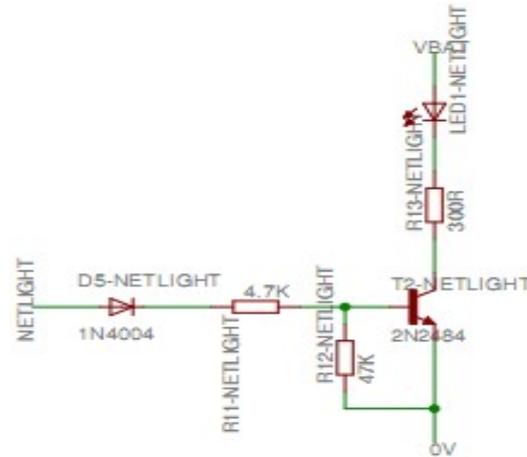


Figura 10. Circuito de saída do pino NETLIGHT.

3.3.6. Placa de circuito impresso obtida

Com a definição do circuito esquemático do ambiente de testes, foi feito o desenho da placa de circuito impresso (PCI) que comportará o ambiente de testes. O software EAGLE permite a exportação dos componentes do desenho esquemático para o desenho da PCI, mas o roteamento ideal das trilhas, a espessura das trilhas e das ilhas deve ser feito manualmente para que a placa possua uma melhor qualidade. Para este projeto, a espessura das trilhas foi de 0.5 mm com ilhas de dimensão 1,5 mm x 2,5 mm, para ilhas longas, e de 2,5mm x 2,5 mm, para ilhas do tipo circular, octogonal e quadrada. Um detalhe interessante para a placa é a distância entre o modem GSM/GPRS e o conector da antena, que deve ser a menor possível. Isso ocorre porque a antena gera uma impedância alta (50 ohms) e a trilha da placa não está preparada para suportar esta impedância por muito tempo. Por isso o tamanho da trilha deve ser o menor possível. A Figura 11 mostra o desenho da PCI do ambiente de testes.

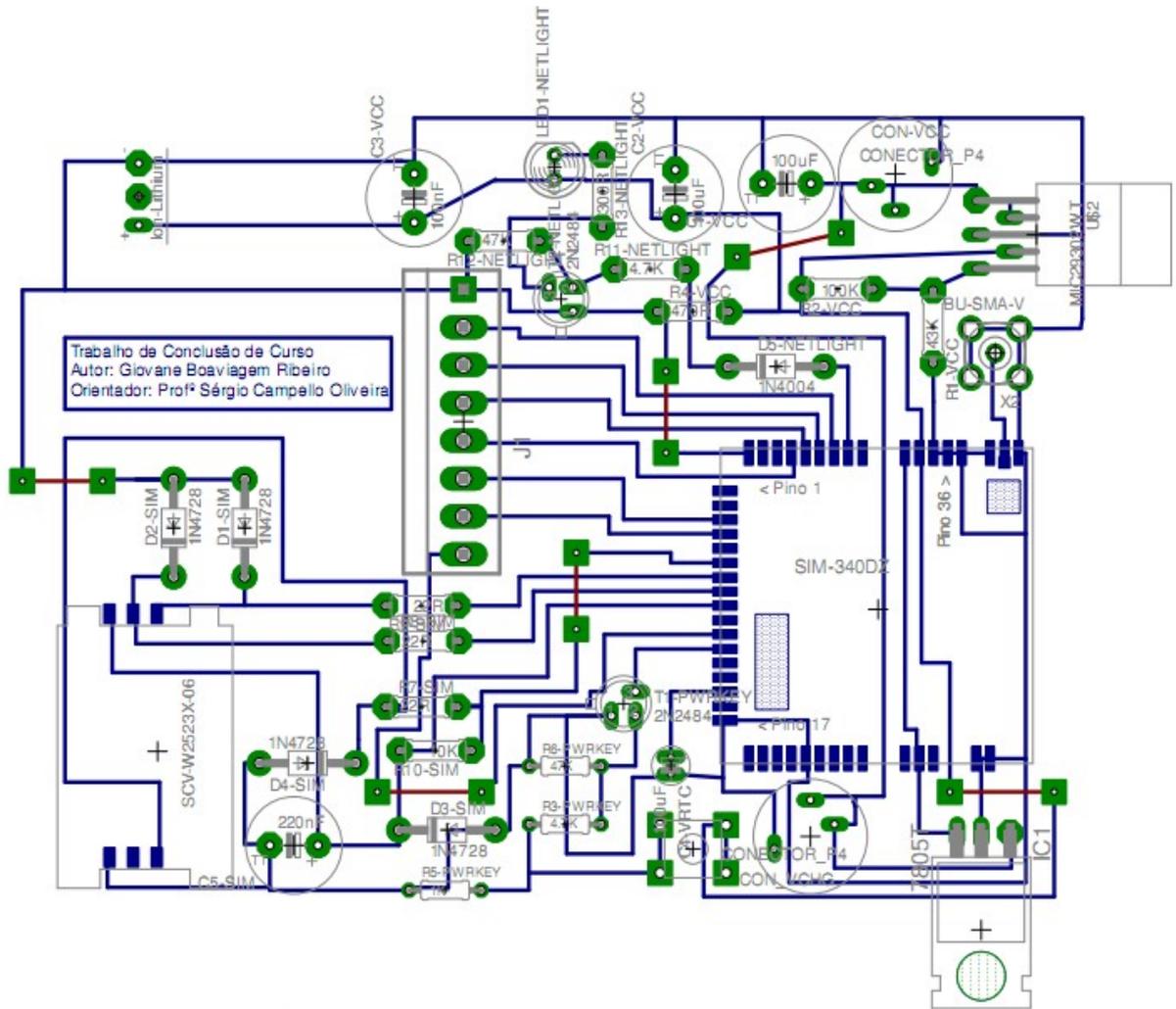


Figura 11. Desenho da placa de circuito impresso.

Capítulo 4

Conclusão e Trabalhos Futuros

Sistemas embarcados frequentemente precisam enviar dados para centrais de processamento e/ou monitoramento. Neste contexto, a transmissão destes dados utilizando a rede de telefonia celular torna-se uma alternativa viável devido ao baixo custo de implementação e a possibilidade de utilizar a rede já existente em uma localidade. Porém o desenvolvimento de rotinas que utilizam o modem pode ser demorado para o desenvolvedor.

Neste trabalho foi proposta uma API, utilizando a linguagem C para microcontroladores PIC, que possibilita ao desenvolvedor a abstração de rotinas de comunicação destes dispositivos com modems GSM/GPRS. Para permitir esta abstração, foram criadas funções de envio e recebimento de tipos primitivos de dados (inteiros, caracteres, ponto-flutuante), além de algumas funções de gerenciamento, como o monitoramento do sinal recebido pela antena conectada ao modem. Também foi desenvolvido um ambiente de testes para a API, composto de uma placa de circuito impresso contendo o modem GSM/GPRS SIM-340DZ, além de todos os circuitos necessários para o seu funcionamento pleno (porta serial, alimentação, etc). O trabalho de uma maneira geral foi válido, uma vez que foi provado que é possível desenvolver rotinas de comunicação para modems GSM/GPRS de forma robusta e em um tempo hábil.

4.1. Trabalhos futuros

Como aprimoramento da API, poderia-se estender o envio e recebimento de dados pra uma estrutura específica onde estariam todos os tipos de dados desejados. Deste modo, as funções de envio e recebimento seriam de apenas um

tipo, reduzindo o tamanho do arquivo gprs.h. Uma outra melhoria que poderia ser feita é a inclusão de rotinas específicas de transmissão GPRS, já que para o envio de tipos primitivos de dados, não foi necessário utilizar este serviço. Utilizando GPRS, juntamente com a estrutura única citada acima, a API estaria apta para enviar qualquer tipo de informação pela rede.

Também seria interessante como melhoria a inserção de mais rotinas de monitoramento, como por exemplo a rotina de obtenção da quantidade de créditos disponíveis no SIM card, ou ainda uma rotina que avalia o nível da bateria que alimenta o modem. Além, destas sugestões, a confecção da placa de circuito impresso proposta, e os testes da API em um ambiente microcontrolado seriam opções interessantes de trabalhos futuros.

Bibliografia

- Bedell, Paul. **Wireless Crash Course**. 2. ed. McGraw-Hill/Osbourne, 2005. 533p.
- Brand, Alex; Aghvami, Hamid. **Multiple Access Protocols for Mobile Communications: GPRS, UPRS and Beyond**. Wiley, 2002. 427p.
- CCS. **CCS, Inc – Home**. Disponível em: <<http://www.ccsinfo.com/>> Último acesso: 22 de fevereiro de 2010.
- Doxygen. **Doxygen**. Disponível em: <<http://www.doxygen.org>> Último acesso: 18 de maio de 2010.
- CadSoft. **CadSoft Onkine: Home of the EAGLE Layout Editor**. Disponível em: <<http://www.cadsoftusa.com>> Último acesso:
- Halonen, Timo; Romero, Javier; Meler, Juan. **GSM, GPRS and EDGE Performance**. 2. ed. Wiley, 2002. 648p.
- José de Souza, David. **Desbravando o PIC**. 12.ed Érica, 2009. 267p.
- Microchip Inc. **PIC18F4550**. Disponível em: <<http://www.microchip.com/www/products/Devices.aspx?dDocName=en010300>> Último acesso: 26 de abril de 2010.
- SIM Com Wireless Solutions Co. **Wireless Communications Module**. Disponível em: <http://wm.sim.com/Sim/FrontShow_en/wireless/detail.aspx?cid=6&nid=5> Último acesso: 18 de maio de 2010.
- Techouse Informática. **[telefonia celular]**. Disponível em: <<http://www.techouserio.com.br/scripts/tudosobre.asp?id=7>> Último acesso: 6 de junho de 2010.

- TELECO – Inteligência em telecomunicações. **Estatísticas de Celulares no Brasil**. 2010. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/ncel.asp>>
- Kurose, James F; Ross, Keith W. **Redes de computadores e a Internet: Uma abordagem top-down**. 3.ed. Pearson Addison Wesley, 2007. 625p.