

# **Criptografia RSA gaussiana**

**Luis Antonio Coêlho**

Relatório para Trabalho de Conclusão de Curso - parte I apresentado à  
Faculdade de Tecnologia da  
Universidade Estadual de Campinas

Orientador: **Profa. Dra. Juliana Bueno**

16 de fevereiro de 2017

# Resumo

O presente artigo expõe o resultado da pesquisa para TCC sobre o algoritmo de criptografia RSA gaussiano.

# Sumário

|          |   |          |
|----------|---|----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução</b>                             | <b>2</b> |
| <b>2</b> | <b>Aritmética Modular</b>                     | <b>7</b> |
| 2.1      | Ciclos e Restos . . . . .                     | 7        |
| 2.2      | Números Primos Naturais e Fatoração . . . . . | 7        |
| 2.3      | Inverso Multiplicativo . . . . .              | 8        |
|          | <b>Bibliografia</b>                           | <b>9</b> |

# Capítulo 1

## Introdução

Faz parte da sobrevivência humana manter segredo acerca de alguns fatos e quando se trata de comunicação, seja escrita ou falada, essa prática se intensifica ainda mais à medida que se expandem os meios de comunicação. A necessidade de manter algumas informações em sigilo levou o homem a se comunicar através de códigos, e à medida em que tais códigos são descobertos há a necessidade de se criar novos códigos para que a comunicação seja mantida em sigilo. Foi a partir desse tipo de necessidade que se inaugurou o que chamamos de *criptografia*, isto é, ao conjunto de técnicas usadas para se comunicar em códigos. O objetivo da comunicação em códigos é garantir que apenas as pessoas interessadas (ou envolvidas na comunicação) possam compreender a mensagem codificada (ou criptografada), garantindo que a mensagem seja lida apenas pelos interessados.

Para compreender como funciona o processo de codificação e decodificação fazemos uso de uma série de termos técnicos, com intuito pedagógico iremos introduzir tais conceitos apresentando um dos primeiros algoritmos criptográficos que se tem conhecimento, a criptografia de César, além de suas sucessoras.

A chamada *criptografia de César*, criada pelo imperador romano César Augusto, consistia em substituir cada letra por outra que estivesse a três posições a frente, como, por exemplo, a letra A era substituída pela letra D.

Uma forma muito natural de se generalizar o algoritmo de César é fazer a troca da letra por outra em uma posição qualquer fixada. A chamada *criptografia de substituição monoalfabética* consiste em substituir cada letra pela letra que ocupa  $n$  posições a sua frente, sendo que o número  $n$  é conhecido apenas pelo emissor e pelo receptor da mensagem. Chamamos este número  $n$  de *chave criptográfica*.

O algoritmo monoalfabético tem a característica indesejada de ser de fácil decodificação, pois possui apenas 26 chaves, e isso faz com que no máximo 26 tentativas o código seja decifrado. Com o intuito de dificultar a quebra do código monoalfabético foram propostas as *cifras de substituição polialfabéticas* em que a chave criptográfica passa a ser uma *palavra* ao invés de um número. A ideia é usar as posições ocupadas pelas letras da chave para determinar o número de posições que devemos avançar para obter a posição da letra encriptada. Vejamos, por meio de um exemplo, como funciona esse sistema criptográfico.

Sejam "SENHA" a nossa chave criptográfica e "ABOBORA" a mensagem a ser encriptada. Abaixo colocamos as letras do alfabeto com suas respectivas posições. Observe que repetimos a primeira linha de letras para facilitar a localização da posição da letra encriptada e usamos a barra para indicar que estamos estamos no segundo ciclo.

|                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1              | 2              | 3              | 4              | 5              | 6              | 7              | 8              | 9              | 10             | 11             | 12             | 13             |
| A              | B              | C              | D              | E              | F              | G              | H              | I              | J              | K              | L              | M              |
| 14             | 15             | 16             | 17             | 18             | 19             | 20             | 21             | 22             | 23             | 24             | 25             | 26             |
| N              | O              | P              | Q              | R              | S              | T              | U              | V              | X              | Y              | W              | Z              |
| 27             | 28             | 29             | 30             | 31             | 32             | 33             | 34             | 35             | 36             | 37             | 38             | 39             |
| $\overline{A}$ | $\overline{B}$ | $\overline{C}$ | $\overline{D}$ | $\overline{E}$ | $\overline{F}$ | $\overline{G}$ | $\overline{H}$ | $\overline{I}$ | $\overline{J}$ | $\overline{K}$ | $\overline{L}$ | $\overline{M}$ |

Vejamos como encriptar a palavra "ABOBORA". Iniciamos o processo escrevendo a mensagem. Ao lado de cada letra da mensagem aparece entre parênteses o número que indica a sua posição. Abaixo da mensagem escrevemos as letras da chave criptográfica, repetindo-as de forma cíclica quando necessário. Analogamente,

ao lado de cada letra da chave aparece entre parênteses o número da posição ocupada de cada letra, e o sinal de soma indica que devemos avançar o aquele número de posições. Ao final do processo aparecem as letras encriptadas. Entre parênteses está a posições resultante da combinação das posições da mensagem e da chave.

|        |       |        |       |       |        |       |                     |
|--------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|---------------------|
| A(1)   | B(2)  | O(15)  | B(2)  | O(15) | R(18)  | A(1)  | Mensagem            |
| ↓      | ↓     | ↓      | ↓     | ↓     | ↓      | ↓     |                     |
| S(+19) | E(+5) | N(+14) | H(+8) | A(+1) | S(+19) | E(+5) | Chave               |
| ↓      | ↓     | ↓      | ↓     | ↓     | ↓      | ↓     |                     |
| T(20)  | G(7)  | C(29)  | J(10) | P(16) | K(37)  | F(6)  | Mensagem encriptada |

Observe que a encriptação polialfabética é mais difícil de ser quebrada do que a monoalfabética uma vez que letras iguais não têm, necessariamente, a mesma encriptação. Observe que nesse tipo de criptografia o emissor precisa passar a chave para o receptor da mensagem de forma segura para que o receptor possa decifra a mensagem, isto é, a chave usada para encriptar a mensagem é mesma que deve ser usada para decifrar a mensagem. Veremos que esse é justamente o ponto fraco nesse tipo de encriptação pois usa a chamada *chave simétrica*, ou seja, a chave usada pelo emissor para codificar a mensagem é a mesma usada pelo receptor para decodificar a mensagem. Nesse processo, a chave deve ser mantida em segredo e bem guardada para garantir que o código não seja quebrado e isso requer algum tipo de contato físico entre emissor e receptor.

O contato pessoal era um problema durante a Primeira Guerra Mundial, época em que houve muitos investimentos em máquinas de encriptação automática. O *Enigma* foi uma destas máquinas e era utilizada pelos alemães tanto para criptografar como para descriptografar códigos de guerra. Semelhante a uma máquina de escrever, os primeiros modelos foram patenteados por Arthur Scherbius em 1918. Essas máquinas ganharam popularidade entre as forças militares alemãs devido a facilidade de uso e sua suposta indecifrábilidade do código.

O matemático Alan Turing foi o responsável por quebrar o código dos alemães durante a Segunda Guerra Mundial. A des-

coberta de Turing mostrou a fragilidade da criptografia baseada em chave simétrica e colocou novos desafios à criptografia. O grande problema passou a ser a questão dos protocolos, isto é, como transmitir a chave para o receptor de forma segura sem que haja contato físico entre as partes?

Em 1949, com a publicação do artigo *Communication Theory of Secrecy Systems* [Sha49] de Shannon, temos a inauguração da criptografia moderna. Neste artigo ele escreve metematicamente que cifras teoricamente inquebráveis tem os mesmos requisitos que as cifras polialfabéticas. Com isso ele transformou a criptografia que até então era uma arte em uma ciência.

Em 1976 Diffie e Hellman publicaram *New Directions in Cryptography* [DH76]. Neste artigo há a introdução do conceito da *chave assimétrica*, onde há chaves diferentes entre o emissor de mensagens e seu receptor. Com a assimetria de chaves não era mais necessário um contato tão próximo entre emissor e receptor, que já havia sido problema no passado.

Um dos algoritmos deste modelo de chave assimétrica é o RSA(RIVEST et al, 1983) [RSA78], algoritmo desenvolvido por Rivest, Shamir e Adleman. Este algoritmo está presente em muitas aplicações de alta segurança, como bancos, sistemas militares e servidores de internet, e ele utiliza para a geração de chaves os números primos naturais de grandeza superior a  $2^{512}$  multiplicados entre si.

O grande problema no uso de primos naturais consiste na Hipótese de Riemann (Riemann,1859) [Rie59], um dos sete desafios matemáticos do milênio [?]. A hipótese diz que informando um número teto, podemos saber quantos e quais são os primos presentes naquele conjunto, este tipo de dado é desastroso para modelos criptográficos centrados nos primos naturais, como o RSA, pois tornaria extremamente mais fácil a realização da descoberta das chaves.

Uma forma para se evitar este problema seria uma substituição dos primos naturais por um conjunto de primos não-naturais,

como os primos de Gauss (Gauss, 1815) [Gau15]. Estes números são números complexos da forma  $a + bi$ , onde  $a$  e  $b$  são diferentes de 0, com  $a^2 + b^2$  resultando em um primo natural.

Por isso, com esta pesquisa, vamos testar a capacidade de um algoritmo criptográfico centrado nos primos de Gauss de ser tão efetivos quanto os algoritmos criptográficos centrados em primos naturais, para que em um futuro, caso ele seja necessário ele possa ser imediatamente e amplamente utilizado.



## Capítulo 2

# Aritmética Modular

### 2.1 Ciclos e Restos

Para podermos compreender a aritmética modular, precisamos começar entendendo o conceito de ciclicidade, que são os fatos que ocorrem sempre após um determinado período constante. Um bom exemplo deste conceito é o nascer do sol, que é um evento que ocorre sempre após um ciclo de 24 horas, assim como o dia de seu aniversário ocorre uma vez a cada ciclo de um ano.

O mesmo tipo de evento é observado com o resto dos números inteiros. Tomemos por exemplo os restos de divisão pelo número inteiro 4:

|                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| <i>Inteiro</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| <i>Resto</i>   | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 | 2  | 3  | 0  |

É visível que após 4 números o resto tende a se repetir. O mesmo feito ocorre a qualquer número inteiro  $n$ , onde o ciclo se repetirá sempre a cada  $n$  iterações. Os números que apresentam o resto 0 são conhecidos como múltiplos de  $n$ .

### 2.2 Números Primos Naturais e Fatoração

Existe um tipo especial de número que só é múltiplo, ou seja, possui resto 0, em duas condições, quando  $n$  é igual a 1 ou quando ele é igual a  $n$ . A esse conjunto de números atribui-se o nome de *números primos naturais*.

Para que possa obter os números primos o método mais comum é o crivo de Erastótenes, que foi desenvolvido por volta do século II a.C. Esse método se baseia na ciclicidade dos números não-primos, que se chamam *números compostos*. Para se começar o crivo deve-se fazer a listagem de todos os números dos quais se deseja testar a primalidade em ordem. Para nosso exemplo iremos fazer o crivo para os números de 1 até 100.

## 2.3 Inverso Multiplicativo

# Referências Bibliográficas

- [DH76] Diffie, Whitfield e Martin Hellman: *New directions in cryptography*. IEEE transactions on Information Theory, 22(6):644–654, 1976.
- [Gau15] Gauss, Carl Friedrich: *Methodus nova integralium valores per approximationem inveniendi*. apvd Henricvm Dieterich, 1815.
- [mil] *Millennium Problems — Clay Mathematics Institute*. <http://www.claymath.org/millennium-problems>. Acessado em 15/11/2016.
- [Rie59] Riemann, Bernhard: *Ueber die Anzahl der Primzahlen unter einer gegebenen Grosse*. Ges. Math. Werke und Wissenschaftlicher Nachlaß, 2:145–155, 1859.
- [RSA78] Rivest, Ronald L, Adi Shamir e Leonard Adleman: *A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems*. Communications of the ACM, 21(2):120–126, 1978.
- [SF09] Sinkov, Abraham e Todd Feil: *Elementary cryptanalysis*, volume 22. MAA, 2009.
- [Sha49] Shannon, Claude E: *Communication theory of secrecy systems*. Bell system technical journal, 28(4):656–715, 1949.