

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Curso de Especialização em Otimização de Sistemas

Monografia de Especialização

**“Estudo Estatístico de Determinação de Capabilidade de
Produtividade Estratificada em Mix da Linha de Decapagem e
Laminador Contínuo à Frio Acoplado e Recozimento Contínuo da
Planta de Ipatinga Laminação de Tiras a Frio 02 (LTF02).”**

Autor: Bremio de Souza Cândido
Orientador: Professora, Dr.^a Ana Paula Couto da Silva
Maio de 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Curso de Especialização em Otimização de Sistemas

Bremio de Souza Cândido

“Estudo Estatístico de Determinação de Capabilidade de Produtividade Estratificada em Mix da Linha de Decapagem e Laminador Contínuo à Frio Acoplado e Recozimento Contínuo da Planta de Ipatinga Laminação de Tiras a Frio 02 (LTF02)”

Monografia apresentada no Curso de Especialização de Otimização de Sistemas dos Departamentos de Ciência da Computação e Engenharia de Produção da Universidade Federal de Minas Gerais.

Área de Concentração: Gestão Industrial

Orientador: Professora, Dr.^a Ana Paula Couto da Silva

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2016

© 2016, Bremio de Souza Cândido.
Todos os direitos reservados

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do ICEx - UFMG

Cândido, Bremio de Souza .

C217e Estudo estatístico de determinação de capacidade de produtividade estratificada em mix da linha de decapagem e laminador contínuo à frio acoplado e recozimento contínuo da planta de Ipatinga laminação de tiras a frio 02 (LTF02) . / Bremio de Souza Cândido. Belo Horizonte, 2016.
xi, 90 f.: il.; 29 cm.

Monografia (especialização) - Universidade Federal de Minas Gerais – Departamento de Ciência da Computação.

Orientadora: Ana Paula Couto da Silva.

1. Computação. 2. Produtividade industrial. 3. Minitab (Sistema de computador). 4. Laminação (Metalurgia). I. Orientadora. II. Título.

CDU 519.6*61(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM OTMIZAÇÃO DE SISTEMAS: ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
GESTÃO INDUSTRIAL

ESTUDO ESTATÍSTICO DE DETERMINAÇÃO DE CAPABILIDADE DE
PRODUTIVIDADE ESTRATIFICADA EM MIX DA LINHA DE DECAPAGEM E
LAMINADOR CONTÍNUO À FRIO ACOPLADO E RECOZIMENTO CONTÍNUO
DA PLANTA DE IPATINGA LAMINAÇÃO DE TIRAS A FRIO 02 (LTF02)

BREMIO DE SOUZA CÂNDIDO

Monografia apresentada aos Senhores:

Prof. Ana Paula Couto da Silva
Orientadora
DCC - ICEx - UFMG

Prof. Geraldo Robson Mateus
DCC - ICEx - UFMG

Prof. Renato Martins Assunção
DCC - ICEx - UFMG

Belo Horizonte, 07 de julho de 2016

Aos meus filhos
Samuel e Lucas.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me proporcionar a vida e a sabedoria,

À minha esposa Edileusa que sempre esteve ao meu lado, compartilhando dos meus ideais e das minhas dificuldades,

A professora e orientadora, Dr.^a Ana Paula Couto Silva, pelas orientações, apoio, sugestões, acompanhamento e aprendizado,

Ao engenheiro Alexandre Sirimarco, pela disponibilidade, acompanhamento, sugestões e críticas,

À Usiminas, pela confiança e oportunidade de crescimento profissional a mim concedida,

A todos do corpo profissional da Engenharia Industrial que, direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE NOTAÇÕES	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Contribuições do trabalho	3
2. CONCEITOS BÁSICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Planta de laminação a frio	4
2.2 Geração de produtos.....	7
2.3 Capacidade do Processo	9
2.4 Ferramenta Software Minitab	13
2.5 Trabalhos relacionados	13
3. METODOLOGIA.....	15
3.1 Coleta, tratamento e análise dos dados de processo.....	15
4. ANÁLISES DAS METAS DE PRODUTIVIDADE	20
4.1 Definição dos Modelos Probabilísticos	20
4.2. Resultados Encontrados.....	22
4.2.1 Modelos Probabilísticos e Análise de Capacidade – PLTCM (<i>Pickling Line and Tandem Cold Mill</i>).....	25
4.2.2 Modelos Probabilísticos e Análise de Capacidade – CAPL (<i>Continuous Annealing and Processing Line</i>)	49
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	83
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS	88
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 2.1 – PLTCM. (Fonte: USIMINAS, 2014)</i>	5
<i>Figura 2.2 – CAPL. (Fonte: USIMINAS, 2014)</i>	6
<i>Figura 2.3 – Bobina a frio - produto gerado na planta de laminação a frio. (Fonte: USIMINAS, 2015)</i>	7

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Produtividade do CAPL.....	8
Tabela 3.1 – Produtividade do PLTCM.....	17
Tabela 3.2 – Produtividade do CAPL.....	17
Tabela 3.3 – Limites de especificação de faixas PLTCM.....	18
Tabela 3.4 – Limites de especificação de faixas CAPL.....	19
Tabela 5.1 – Resultados das análises estatísticas PLTCM.....	84
Tabela 5.2 – Resultados das análises estatísticas CAPL.....	85

LISTA DE NOTAÇÕES

BAF	<i>Batch Annealing Furnace</i> – Recozimento em Caixa
CAPL	<i>Continuous Annealing and Processing Line</i> – Linha de Recozimento Contínuo
PLTCM	Pickling Line and Tandem Cold Mill – Linha de Decapagem e Laminador em Tandem a Frio
LSE	Limite Superior de Especificação
LSI	Limite Inferior de Especificação
LTF2	Laminação de Tiras a Frio número 2
USL	Limite Superior de Especificação
LSL	Limite Inferior de Especificação

RESUMO

Os produtos finais dos processos analisados neste trabalho são as bobinas de aço plano. Nestes processos, as metas de produtividade são determinadas considerando as dimensões, a qualidade e o tipo de processo dos produtos gerados na planta de laminação de tiras a frio nº 2 da empresa. Tendo em vista alcançar processos eficientes (economicamente ou em termos de qualidade), torna-se necessário saber estatisticamente se os processos atuais implementados na empresa apresentam desempenho capaz de atender a estas metas.

Atualmente os índices de produtividade medem o desempenho dos processos fabris e indicam se estes estão funcionando dentro das especificações determinadas. A determinação de metas utiliza a média do último ano como valor de início e as médias dos três melhores resultados como valor esperado no final do próximo ciclo de produção/orçamento.

Os resultados apresentados nesta monografia mostram que as faixas de produção atuais, classificadas em ciclos de recozimento, qualidade e dimensão de produtos, foram bem definidas e não há indícios de faixas com grande variação de produtividade o que provaria uma irregularidade na determinação destes limites.

Finalmente, as análises estatísticas de desempenho de processo (Pp) realizadas fornecem informações de que a porcentagem média esperada de resultados fora dos limites de especificação foi de 1,92% para o PLTCM e de 1,65% para o CAPL, o que valida a metodologia de elaboração das metas atuais de produtividade, resultando em metas alcançáveis, mas desafiadoras.

Palavras-chave: Produtividade, Minitab, Laminação a Frio, Desempenho de Processo.

ABSTRACT

The final product of analyzed process are the flat steel coils, and the productivity targets are determined taking into account the size and quality of the products generated in the integrated rolling mill (LTF2), cold rolling strip mill 2 of facilities. Therefore, it is necessary statistically know whether the current processes have performance capable of meeting these goals.

Currently the productivity indices measure the performance of manufacturing processes and indicate that they are working within certain specifications. The adopted procedure to determine productivity goals associates average of the last previous year as the starting value of the next cycle and the average of the three best results of the previous period as expected value at the end of the next cycle of production/budget.

The results show that current production bands classified within annealing cycles, product quality and size were well defined and there is no evidence of bands with large variation in productivity which proves an error in determining these ranges.

Finally, the statistics analysis of process performance (Pp) executed provide information that the expected average percentage results outside the specification limits were 1.92% for PLTCM and 1.65% for CAPL, which validates the method for preparing the current goals of productivity, resulting in achievable but challenging targets.

Keywords: Productivity, Minitab, Cold rolling, Process Capability and Performance.

1. INTRODUÇÃO

A planta de laminação a frio faz parte da cadeia produtiva de aços planos para diversas aplicações, com destaque nas indústrias de eletrodomésticos, construção civil e automobilística. Entre vários processos de laminação, podemos citar dois tipos: laminação a frio (PLTCM) e recozimento contínuo (CAPL). Estes dois tipos de processos são os mais utilizados na empresa, contando com um alto nível de automação e modernidade dos seus equipamentos.

No PLTCM ocorre a laminação de bobinas de aço à temperatura ambiente. Assim, este processo é denominado laminação a frio, sendo a medida de desempenho da linha o total de bobinas produzidas. A produtividade é uma métrica importante de qualidade do processo, e é utilizada para certificar que o plano mensal de produção está sendo cumprido.

Mais precisamente, a produtividade é definida por eventos disparados automaticamente pelos equipamentos envolvidos na fabricação, sendo seu cálculo obtido pela divisão do peso de saída da bobina e pelo tempo gasto entre a colocação e retirada do produto da linha. Para esta métrica, a sua unidade é toneladas/hora.

No PLTCM, a redução da espessura da tira de aço é realizada à temperatura ambiente, utilizando-se de cilindros de laminação. Os desafios principais são os agrupamentos de qualidade do produto nos inícios e finais de faixa de dimensões (espessura e largura), onde a produtividade tende a ser diferente do padrão estabelecido internamente. Nestes pontos, conforme os levantamentos utilizados, os resultados de produtividade têm seus valores mínimos e máximos. Por outro lado, no processo de recozimento contínuo (CAPL), esta tira é submetida a vários ciclos de altas temperaturas com objetivo de adequar as propriedades mecânicas após a laminação a frio.

O foco principal desta monografia é analisar as métricas de produtividade definidas através do procedimento interno adotado pela empresa no cálculo do padrão de produtividade efetiva.

Este procedimento considera as seguintes premissas: para os cálculos de produtividade considera-se como período de análise os últimos doze meses, sendo eliminados os meses não representativos. Caso sejam eliminados meses (máximo de três meses), deve-se anexar as justificativas. As métricas de produtividade são definidas de forma trimestral, sendo que para o primeiro trimestre consideram-se a média dos valores obtidos durante os últimos doze meses. Para o último trimestre consideram-se os três melhores meses em eficiência efetiva (planejado x realizado) do período de análise. Os outros dois trimestres (segundo e terceiro) são calculados como um terço da diferença do primeiro e quarto trimestre, que é acrescentado ao resultado na métrica de partida.

A motivação principal em verificar a alcançabilidade das metas de produtividade é consequência dos casos em que a meta de produtividade não é alcançada, estes devem ser analisados e justificados no plano mensal. Casos estes, mesmo que raros, podem gerar questionamentos ao método empregado atualmente na empresa, gerando oportunidades de melhorias dos processos internos.

Assim, para verificar se as metas de produtividade estabelecidas pela empresa foram alcançadas e o respectivo grau de sucesso, este trabalho apresenta um tratamento estatístico dos dados dos processos de laminação na empresa. A partir dos dados, analisamos os índices de capacidade dos processos de laminação, verificando se os níveis de produtividade foram alcançados de maneira satisfatória.

Costa et al. (2005) e Tonini (2010) afirmam que a “Análise da capacidade permite fazer uma avaliação levando em consideração as dimensões do produto para identificar a capacidade do processo em produzir itens

conformes”. Neste trabalho, as dimensões em questão são as faixas de produtividade (toneladas por hora), devidamente estratificadas em largura, espessura, ciclo de recozimento, qualidade superficial e composição química dos produtos.

1.1 Contribuições do trabalho

O objetivo geral do trabalho é analisar os dados de produtividade dos processos de laminação a frio (PLTCM) e recozimento contínuo (CAPL) e verificar se os processos são capazes de atender as metas de produtividade estabelecidas pela empresa.

Contribuições específicas:

- Coleta e tratamento dos dados de processo de laminação, que poderão ser utilizados em outros projetos da empresa.
- Aplicação dos modelos estatísticos para outras linhas, confirmando a abrangência do trabalho.
- Validação das metas de produtividade, verificando a correte da metodologia adotada atualmente na empresa.

2. CONCEITOS BÁSICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados os conceitos básicos dos fenômenos envolvidos na definição e medida de níveis de produtividade, destacando a descrição dos processos siderúrgicos nas seções 2.1 e 2.2, na seção 2.3 são apresentadas as fontes de informações utilizadas no trabalho, na seção 2.4 são descritas as ferramentas estatísticas utilizadas, e por fim, na seção 2.5 são relacionados os trabalhos que fundamentaram os conhecimentos necessários para realização do presente.

2.1 Planta de laminação a frio

Os aços laminados a frio são gerados a partir da redução a frio aplicada ao produto laminado a quente, sendo posteriormente recozido, através de procedimento chamado de tratamento térmico. Os produtos obtidos apresentam dimensões que podem variar de 0,20 a 3,00 mm de espessura e largura entre 700 e 1.830 mm, vendidos no mercado como bobinas (rolos). O tratamento térmico, responsável por conferir as principais propriedades mecânicas ao produto é realizado pelo recozimento contínuo, CAPL (*Continuous Annealing and Processing Line*). A associação entre composição química específica e processo termomecânico adequado permite a produção de diferentes qualidades de aço, desde comerciais até os de alta resistência.

O processo de laminação a frio é composto por quatro etapas.

- 1) **Decapagem:** tem a função principal de remoção de óxidos, preparando o material para o processo de laminação;
- 2) **Laminação a frio:** tem a função de reduzir a espessura da bobina até atingir solicitação especificada pelo cliente;
- 3) **Recozimento:** confere ao material as propriedades mecânicas necessárias a cada tipo de aplicação e;

4) **Encruamento:** realiza o ajuste nas propriedades mecânicas, no acabamento e na planicidade da tira.

De maneira complementar, ensaios são aplicados aos produtos para aferir as diferentes propriedades especificadas por diferentes normas, sendo o mais comum o ensaio de tração que avalia a resistência mecânica e a ductilidade. O produto laminado a frio é fornecido sem revestimento, sendo aplicado à superfície das chapas óleos protetivos temporários, que asseguram resistência à corrosão atmosférica até a aplicação do produto pelo cliente (USIMINAS, 2014).

A Usiminas possui uma linha de decapagem acoplada ao laminador, o PLTCM (*Pickling Line and Tandem Cold Mill*) que acopla os processos de laminação de forma contínua, proporcionando ganho em qualidade e, principalmente, em produtividade conforme *layout* da linha PLTCM na *figura 2.1* (USIMINAS, 2014).

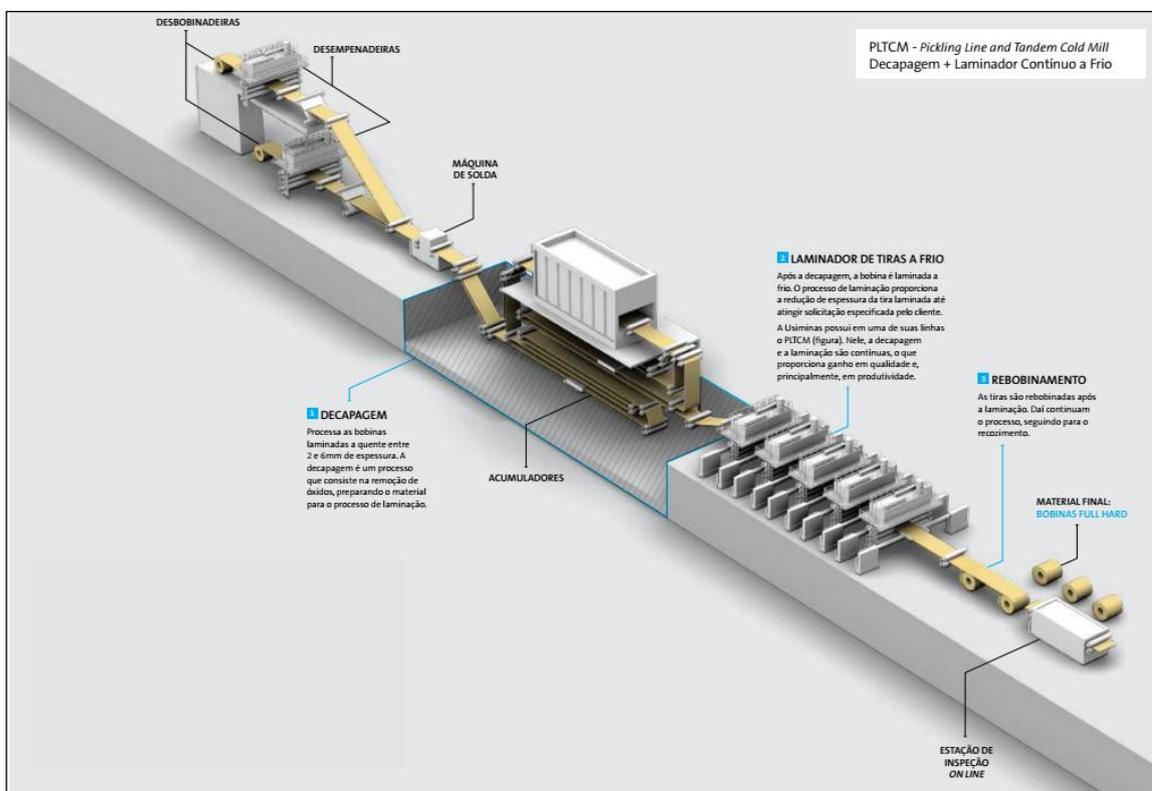


Figura 2.1 – PLTCM. (Fonte: USIMINAS, 2014)

Seguindo o processo de laminação, a bobina é encaminhada para os processos de limpeza eletrolítica, cuja função é retirar da superfície do material, antes de ser recozido, os resíduos gerados durante a laminação devido ao atrito entre as chapas e os cilindros.

O recozimento contínuo consiste em um tratamento térmico para recuperação das propriedades mecânicas do material, tornando-o adequado para aplicação em diversos segmentos. O material é desbobinado no início da linha e passa pela linha de recozimento (em forma de tira), o que proporciona um aquecimento mais rápido e faz com que o processo tenha duração de apenas alguns minutos. O *layout* da linha CAPL pode ser visto na *figura 2.2* (USIMINAS, 2014).

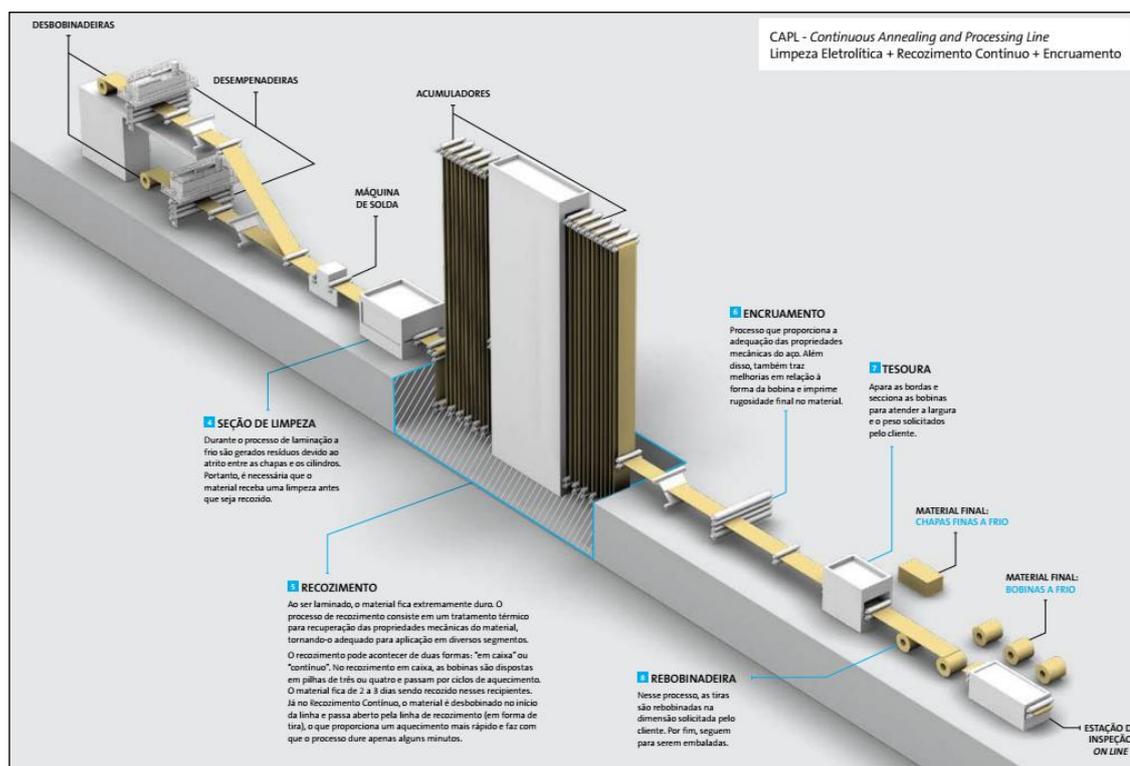


Figura 2.2 – CAPL. (Fonte: USIMINAS, 2014)

Após a inspeção *on line*, onde são verificados a qualidade e o acabamento superficial do produto, o material final está pronto para ser entregue ao cliente.

2.2 Geração de produtos

Os produtos gerados na planta de laminação a frio chamados “bobinas a frio” (*figura 2.3*) são destinados ao mercado de aços planos, como indústria automobilística, de eletrodomésticos e de construção civil. Para estes tipos de aplicações, as propriedades mecânicas e características dimensionais das bobinas são relevantes. Adicionalmente, um alto grau de qualidade do produto é esperado.



Figura 2.3 – Bobina a frio - produto gerado na planta de laminação a frio. (Fonte: USIMINAS, 2015)

Seguindo o procedimento interno, o atendimento à exigências atuais dos requisitos de produtividade, que é o ritmo de produção, implica na garantia do bom desempenho operacional dos processos produtivos da planta de laminação a frio (PLTCM) e recozimento contínuo (CAPL). Por outro lado, em função de variáveis operacionais, como o ciclo de recozimento (*tab. 2.4*), torna-se necessário reduzir ou aumentar a velocidade de processo da bobina, evitando que o material seja desclassificado ou retrabalhado.

Considere os dados da tabela 2.1. Para o caso em que a faixa de espessura de 1,01mm a 1,20mm, e de largura de 1.001mm a 1.300mm, as metas de produtividade são:

- Ciclo Baixo – 95,87 t/h
- Ciclo Médio – 81,48 t/h
- Ciclo Alto – 71,74 t/h

Tabela de Produtividade - CAPL																
Linha	Unid.	Ciclo	Faixa de espessura (mm)	Faixa de largura (mm)	jan/15	fev/15	mar/15	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15
CAPL	t/h	BAIXO	<=0,50	<=1000	39,53	39,53	39,53	39,82	39,82	39,82	40,11	40,11	40,11	40,40	40,40	40,40
				1001 a 1300	50,72	50,72	50,72	51,08	51,08	51,08	51,44	51,44	51,44	51,80	51,80	51,80
				1301 a 1500	56,54	56,54	56,54	56,86	56,86	56,86	57,18	57,18	57,18	57,50	57,50	57,50
			0,51 a 0,60	1001 a 1300	60,66	60,66	60,66	61,30	61,30	61,30	61,95	61,95	61,95	62,60	62,60	62,60
				<=1000	61,54	61,54	61,54	62,03	62,03	62,03	62,51	62,51	62,51	63,00	63,00	63,00
				1001 a 1300	77,34	77,34	77,34	77,74	77,74	77,74	77,74	77,74	77,74	77,74	77,74	77,74
			0,61 a 0,80	>1500	120,13	120,13	120,13	120,99	120,99	120,99	121,85	121,85	121,85	122,71	122,71	122,71
				1001 a 1300	91,59	91,59	91,59	92,33	92,33	92,33	93,06	93,06	93,06	93,80	93,80	93,80
				>1500	124,25	124,25	124,25	124,80	124,80	124,80	125,35	125,35	125,35	125,90	125,90	125,90
			1,01 a 1,20	1001 a 1300	95,87	95,87	95,87	96,76	96,76	96,76	97,64	97,64	97,64	98,53	98,53	98,53
				<=1000	79,43	79,43	79,43	80,51	80,51	80,51	81,60	81,60	81,60	82,68	82,68	82,68
				1001 a 1300	95,95	95,95	95,95	96,60	96,60	96,60	97,24	97,24	97,24	97,89	97,89	97,89
		>1,20	1301 a 1500	109,91	109,91	109,91	110,38	110,38	110,38	110,85	110,85	110,85	111,32	111,32	111,32	
			>1500	111,22	111,22	111,22	112,49	112,49	112,49	113,75	113,75	113,75	115,02	115,02	115,02	
			1001 a 1300	66,29	66,29	66,29	66,70	66,70	66,70	67,10	67,10	67,10	67,50	67,50	67,50	
		MÉDIO	<=1000	63,25	63,25	63,25	63,54	63,54	63,54	63,83	63,83	63,83	64,13	64,13	64,13	
				1001 a 1300	79,08	79,08	79,08	79,49	79,49	79,49	79,89	79,89	79,89	80,30	80,30	80,30
				1301 a 1500	93,54	93,54	93,54	93,86	93,86	93,86	94,18	94,18	94,18	94,50	94,50	94,50
			0,61 a 0,80	>1500	101,59	101,59	101,59	102,39	102,39	102,39	103,19	103,19	103,19	103,99	103,99	103,99
				1001 a 1300	82,87	82,87	82,87	83,58	83,58	83,58	84,29	84,29	84,29	85,00	85,00	85,00
				1301 a 1500	100,69	100,69	100,69	101,02	101,02	101,02	101,34	101,34	101,34	101,66	101,66	101,66
			0,81 a 1,00	>1500	106,10	106,10	106,10	107,07	107,07	107,07	108,03	108,03	108,03	109,00	109,00	109,00
				1001 a 1300	81,48	81,48	81,48	82,15	82,15	82,15	82,83	82,83	82,83	83,50	83,50	83,50
				1301 a 1500	100,47	100,47	100,47	100,98	100,98	100,98	101,49	101,49	101,49	102,00	102,00	102,00
			1,01 a 1,20	>1500	109,79	109,79	109,79	110,03	110,03	110,03	110,26	110,26	110,26	110,50	110,50	110,50
				1001 a 1300	75,27	75,27	75,27	75,51	75,51	75,51	75,76	75,76	75,76	76,00	76,00	76,00
				1301 a 1500	89,37	89,37	89,37	89,75	89,75	89,75	90,12	90,12	90,12	90,50	90,50	90,50
		1,01 a 1,20	1001 a 1300	71,74	71,74	71,74	72,16	72,16	72,16	72,58	72,58	72,58	73,00	73,00	73,00	
			<=1000	69,77	69,77	69,77	70,52	70,52	70,52	71,27	71,27	71,27	72,02	72,02	72,02	
			1001 a 1300	77,78	77,78	77,78	78,52	78,52	78,52	79,26	79,26	79,26	80,00	80,00	80,00	
		>1,20	1301 a 1500	94,83	94,83	94,83	95,38	95,38	95,38	95,94	95,94	95,94	96,50	96,50	96,50	
			1001 a 1300	58,90	58,90	58,90	59,60	59,60	59,60	60,30	60,30	60,30	61,00	61,00	61,00	
			<=1000	64,44	64,44	64,44	64,44	64,44	64,44	64,44	64,44	64,44	64,44	64,44	64,44	
		MÉDIO DI/PI	>1,20	1001 a 1300	77,22	77,22	77,22	78,14	78,14	78,14	79,07	79,07	79,07	80,00	80,00	80,00
				1301 a 1500	84,80	84,80	84,80	85,65	85,65	85,65	86,50	86,50	86,50	87,36	87,36	87,36

Tabela 2.1 – Produtividade do CAPL.

No entanto, podemos notar que para uma mesma dimensão, a produtividade, o ritmo de produção em toneladas/hora, varia de acordo com o ciclo de recozimento aplicado, sendo maior no ciclo baixo, ou seja, de baixo tempo de permanência nos fornos.

Assim, de acordo com a variação das velocidades de processo, a elaboração dos planos diários e/ou mensais pode ficar comprometida. Dessa forma, os custos de transformação destes materiais podem ser penalizados, o que leva ao questionamento da capacidade do processo em atender as metas de produtividade estabelecidas de acordo com o método atual. Não distante disto, a definição dos planos depende diretamente das metas de produtividade estabelecidas previamente.

2.3 Capacidade do Processo

Um conjunto de procedimentos que visam produzir um serviço ou um produto pode ser definido como um processo. Todos os processos possuem variabilidade, decorrentes das condições do ambiente ou do sistema de medição (WERKEMA, 1995).

De acordo com Costa et al. (2005) os Índices de Capacidade do Processo (ICPs) medem indiretamente o quanto o processo em questão é capaz de atender às especificações estabelecidas. Quanto maior for o valor do índice, maior é a capacidade do processo em satisfazer as especificações pré-definidas. Assim, um processo é capaz, quando o mesmo produz produtos dentro das especificações desejadas e variabilidade inerente a causas comuns do processo.

A avaliação da capacidade do processo produtivo tem como objetivo validar a condição do processo de atender as especificações e características da qualidade do produto. A análise de capacidade de processo pode ser definida como um estudo de engenharia que consiste em trazer o processo ao controle estatístico e comparar sua variabilidade inerente com as especificações previamente determinadas.

De uma maneira geral, os diferentes índices de capacidade foram desenvolvidos tanto para medir a capacidade potencial como a capacidade de desempenho dos processos. Estes índices consideram os limites de especificação que foram definidos para o processo, e são definidos da seguinte forma:

1) Os índices de capacidade do processo são usados para medir a capacidade potencial de um sistema em atender as demandas ou necessidades do cliente. Assim, consideramos os dois principais índices de capacidade de processo:

- ✓ Cp: Este é o índice de capacidade. Ele compara a capacidade do processo com a variação máxima permitida, como indicado pela tolerância.

- ✓ Cpk: Índice de capacidade que conta para a centralização do processo. Ele relaciona a distância em escala entre a média do processo e o limite de especificação mais próximo.

2) A capacidade de desempenho do processo pode ser interpretada como a capacidade atual do processo. Estes índices de desempenho de processo são usados para medir o desempenho do sistema em atender as demandas ou necessidades do cliente. Eles medem o desempenho atual dos processos. Os dois principais índices de desempenho de processo:

- ✓ Pp: Este é o índice de desempenho. Ele compara o desempenho do processo com a variação máxima permitida pela tolerância, independente da centralização do processo. Ele é expresso como os limites da tolerância divididos por seis vezes o desvio padrão da amostra.
- ✓ Ppk: Índice de desempenho que conta para a centralização do processo, ou seja, a proximidade da média com a meta.

Para calcular os índices de capacidade são necessários, segundo Machado (2010), os limites de especificação, sendo estes os requisitos mínimos para que o produto, ou processo possa ser considerado conforme (atendendo os limites de especificação dos clientes). A *Equação 1* mostra como é calculado o Cp (razão entre a dispersão da especificação e a dispersão do processo) para especificações bilaterais.

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (1)$$

Onde: LSE é o limite superior de especificação e LIE é o limite inferior de especificação, e σ é o desvio padrão populacional.

O índice Cp representa a capacidade potencial do processo em fornecer um produto aceitável (MONTGOMERY, 2004). Para analisar a tendência central, Kane (1986) introduziu o índice Cpk (índice de capacidade efetiva). Os índices Cp (mede proporcionalidade) e Cpk (mede quanto você está distante do limite de especificação), quando usados em conjunto, proporcionam uma boa indicação da capacidade do processo, tanto em relação à média quanto à variabilidade (PALMER E TSUI, 1999). Reescrevendo a equação 1, temos:

$$C_p = \frac{\text{Variabilidade Permitida do Processo}}{\text{Variabilidade Inerente}}$$

Considerando o índice Cpk de capacidade efetiva, temos:

$$C_{pk} = \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma_R} \quad \text{or} \quad \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma_R} \quad C_{Pk} = \frac{Z}{3} \quad Z_s = \frac{LSE - \bar{X}}{\sigma} \quad Z_i = \frac{\bar{X} - LIE}{\sigma}$$

Menor em módulo

Onde Z é o menor valor entre Zs e Zi, e \bar{X} é a média da população.

O índice Cpk pode ser considerado mais completo, dado que leva em conta não somente a variabilidade do processo como também sua localização com respeito aos limites de especificação. Considerando as definições apresentadas, podemos notar que o Cpk está mais próximo à média do processo.

Geralmente, se o $C_p = C_{pk}$, significa que o processo está centrado no ponto médio das especificações, quando o $C_{pk} < C_p$, o processo está descentralizado. Se o processo estiver centrado no ponto médio das especificações, então a seguinte igualdade é válida:

$$\begin{aligned} C_{pk} &= C_p \\ P_{pk} &= P_p \end{aligned}$$

O P_p é uma estimativa usada para medir o desempenho de um sistema em atender as demandas ou necessidades do cliente. A única diferença computacional entre C_p e P_p é o uso de desvio padrão de processo de longo prazo $\hat{\sigma}$, ao invés do desvio padrão de curto prazo (S_p). A medição não deve envolver centralização do processo. A equação 2 mostra como é calculado o índice P_p :

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}} \quad (2)$$

Os limites de especificação de um processo são os limites aceitáveis de qualidade para um produto em particular e são determinados por engenheiros ou outros conhecedores do processo. As especificações não são determinadas estatisticamente e não possuem necessariamente base estatística, como o método de determinação de metas de produtividade da empresa. Um processo que atende às especificações é definido como sendo um processo capaz.

Existem muitas instâncias nas quais um processo pode estar em um estado de controle estatístico, ou seja, quando não existem causas especiais para os dados analisados, e não atender às especificações.

O controle estatístico pode ser determinado pelo uso de gráficos de controle. Caso todos os pontos estejam dentro dos limites de controle em um gráfico de controle e se não existirem padrões fora do comum, define-se que o processo está "sob controle", ou seja, que ele está em um estado de controle estatístico. Entretanto, este mesmo processo pode não estar necessariamente dentro das especificações. Ou seja, o processo pode estar estável (dentro do controle estatístico), mas não ser capaz (não atender as especificações).

É desejável ter um valor de $P_p \geq 1$. Neste caso, o processo atende (no caso de $P_p = 1$) ou excede (no caso de $P_p > 1$) aos requisitos de especificação.

Portanto, o estudo e a análise da capacidade do processo é um instrumental estatístico capaz de fazer inferências que determinam o comportamento do processo em questão. Uma vantagem é que estes índices são adimensionais, ajudando na comparação do processo produtivo através dos dados reais de produtividade.

2.4 Ferramenta Software Minitab

O Software Estatístico MINITAB teve seu início em 1972 para auxiliar em estudos estatísticos complexos. Atualmente este programa é amplamente utilizado por faculdades e universidades em todo o mundo e é referenciado por aproximadamente 450 livros texto. A MINITAB Inc. é uma empresa privada com sede em State College, Pensilvânia, e subsidiárias no Reino Unido, na França e na Austrália (fonte: <https://www.minitab.com/pt-BR/>).

Na elaboração deste trabalho serão usados dados disponíveis nos sistemas de automação das linhas, observando possíveis erros inerentes, outliers e tolerâncias (ex.: faixas de largura, faixas de espessura, qualidade, tipo de ciclo de recozimento). O Minitab foi escolhido principalmente por ser uma ferramenta em uso nas análises realizadas na empresa.

2.5 Trabalhos relacionados

Na literatura existe um amplo conjunto de trabalhos que buscam analisar o comportamento de processos, com ênfase em seu desempenho e capacidade. Entre os diversos trabalhos, podemos citar os seguintes que estão relacionados com a análise apresentada nesta monografia:

1 - “An alternative to data transformation is to find a non-normal distribution”, [ROBERT W. SHERRILL, LOUIS A. JOHNSON 2009]. Este trabalho descreve como os cálculos de capacidade de processos e cartas de controle podem estar incorretos por assumirem a normalidade no processo. Dessa forma, distribuições alternativas podem ser utilizadas com o intuito de analisar a produtividade alcançada pelos processos em questão.

2 - “A CAPABILITY INDEX FOR ALL OCCASIONS”, [K. S. Krishnamoorthi, Suraj Khatwani, 2012]. Este trabalho descreve métodos que evitam a utilização de índices que dependem da normalidade dos dados em processos não-

normais. Um dos resultados do artigo é utilizar a distribuição de probabilidade Weibull para o fitting dos índices de produtividade.

3 - “My Supplier’s Capability Is What?”, [Peter E. Pylipow, 2003]. Este trabalho descreve a importância de conhecer quais processos seus fornecedores utilizam para fazer suas peças, aplicando a estimativa amostral de capacidade de processo para entender as estatísticas populacionais de processos fabris. Descreve também como exigir de seus fornecedores evidências de que seus processos são capazes e estão sob controle estatístico.

4 - “Análise da Capacidade de Um Processo: Um Estudo de Caso Baseado nos Indicadores Cp e Cpk” [Josenildo Brito de Oliveira, 2011]. O trabalho mostra como os índices de capacidade podem garantir que um processo está operando dentro das especificações projetadas e tem como objetivo analisar a capacidade com base na aplicação de indicadores de desempenho.

O presente trabalho difere dos trabalhos relacionados, ao analisar uma metodologia de estabelecimento de metas produtivas para processos, utilizando para esta análise os índices de desempenho resultantes dos atuais limites de especificação empregados na empresa.

3. METODOLOGIA

O trabalho experimental será desenvolvido com dados dos processos operacionais da planta de laminação a frio número dois da Usiminas. A escolha da planta dois se deve a modernidade dos equipamentos e integração entre os seus sistemas de controle.

Neste capítulo serão apresentados os dados coletados, seus tratamentos e suas análises (seção 3.1).

3.1 Coleta, tratamento e análise dos dados de processo.

Os dados de processo foram coletados diretamente dos computadores de controle dos equipamentos, através da utilização de bancos de dados desenvolvidos para o software de banco de dados Access (*Microsoft Office*). O período de apuração foi de 01 de janeiro de 2015 a 31 de dezembro de 2015, contando com um total de 45.065 de bobinas processadas no PLTCM e 22.491 bobinas processadas no CAPL.

Após as consultas dos agrupamentos por qualidade e dimensões dos produtos (faixas), foram analisados os dados populacionais utilizando ferramentas estatísticas para avaliar o desempenho produtivo do processo. Algumas faixas produtivas foram excluídas (PLTCM – faixas 11, 17, 21, 24, 32, 37 e 48) e (CAPL – faixas 11, 13, 19, 20, 32, 37, 41, 44, 72, 91, 92 e 93) das análises devido à quantidade insuficiente de material processado no período analisado. Para as faixas produtivas consideradas nas análises, foram descartados valores considerados como *outliers*. Os limites de especificação foram calculados utilizando a fórmula dos quartis, conforme abaixo:

$$\text{Limite inferior: } Q_1 - 1,5(Q_3 - Q_1).$$

$$\text{Limite superior: } Q_3 + 1,5(Q_3 - Q_1).$$

Para este caso, os pontos fora destes limites são considerados valores discrepantes (*outliers*). A Figura 3.1 exemplifica a determinação dos *outliers*, considerando os dados da faixa 58 (processo CAPL). Vale ressaltar que a extração dos *outliers* foi realizada para todos os dados considerados nas análises apresentadas neste trabalho.

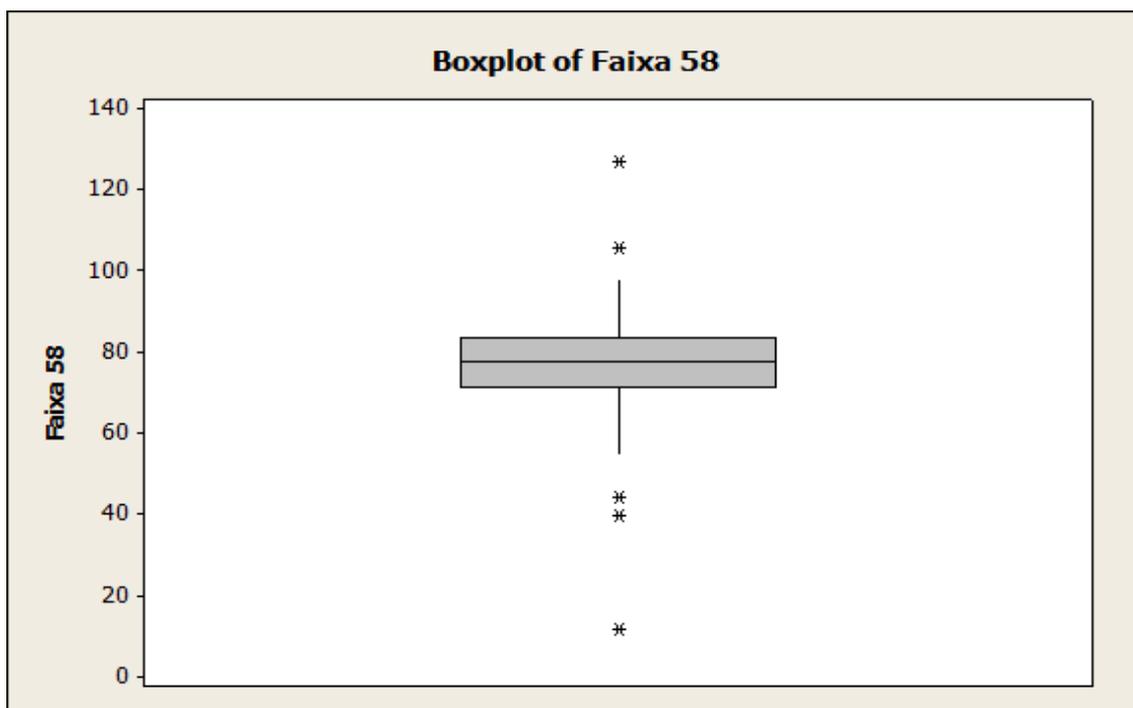


Gráfico 3.1 – Exemplo de Boxplot (faixa 58).

A partir dos dados coletados e tratados, as tabelas de produtividade 3.1 (PLTCM) e 3.2 (CAPL) foram definidas. Estas apresentam alguns exemplos das metas de produtividade do processo em questão, partindo-se da média do período anterior (janeiro) e chegando-se na média dos três melhores resultados do período anterior. Adicionalmente, as tabelas apresentam as faixas de produção, de acordo com a qualidade, dimensional e ciclo de recozimento.

Tabela de Produtividade - PLTCM																		
Linha	Unid.	Produto	Faixa de espessura (mm)	Faixa de largura (mm)	jan/15	fev/15	mar/15	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15		
PLTCM	Dureza Alta	0,60 a 0,89	>=0,90	1001 a 1299	138,52	138,52	138,52	139,65	139,65	139,65	140,78	140,78	140,78	141,91	141,91	141,91		
				<=1000	148,16	148,16	148,16	149,21	149,21	149,21	150,25	150,25	150,25	151,29	151,29	151,29		
		0,40 a 0,49	1001 a 1299	135,80	135,80	135,80	136,87	136,87	136,87	137,93	137,93	137,93	139,00	139,00	139,00	139,00	139,00	139,00
			1001 a 1299	142,06	142,06	142,06	143,37	143,37	143,37	144,69	144,69	144,69	146,00	146,00	146,00	146,00	146,00	
			1300 a 1649	183,17	183,17	183,17	184,45	184,45	184,45	185,72	185,72	185,72	187,00	187,00	187,00	187,00	187,00	
			<=1000	141,18	141,18	141,18	141,18	141,18	141,18	141,18	141,18	141,18	141,18	141,18	141,18	141,18	141,18	
			1001 a 1299	181,86	181,86	181,86	182,75	182,75	182,75	183,64	183,64	183,64	184,52	184,52	184,52	184,52		
			1300 a 1649	221,86	221,86	221,86	223,07	223,07	223,07	224,28	224,28	224,28	225,49	225,49	225,49	225,49		
		0,60 a 0,89	>=1650	227,99	227,99	227,99	229,02	229,02	229,02	230,04	230,04	230,04	231,07	231,07	231,07	231,07		
			<=1000	165,56	165,56	165,56	165,56	165,56	165,56	165,56	165,56	165,56	165,56	165,56	165,56	165,56		
			1001 a 1299	214,74	214,74	214,74	215,07	215,07	215,07	215,39	215,39	215,39	215,72	215,72	215,72	215,72		
			1300 a 1649	256,56	256,56	256,56	257,66	257,66	257,66	258,76	258,76	258,76	259,87	259,87	259,87	259,87		
	<=1000		87,79	87,79	87,79	87,80	87,80	87,80	87,82	87,82	87,82	87,83	87,83	87,83	87,83			
	1001 a 1299		128,11	128,11	128,11	129,00	129,00	129,00	129,88	129,88	129,88	130,76	130,76	130,76	130,76			
	0,50 a 0,59	1300 a 1649	129,76	129,76	129,76	130,77	130,77	130,77	131,78	131,78	131,78	132,79	132,79	132,79	132,79			
		1001 a 1299	141,12	141,12	141,12	141,12	141,12	141,12	141,12	141,12	141,12	141,12	141,12	141,12	141,12			
	0,60 a 0,89	<=1000	131,09	131,09	131,09	132,23	132,23	132,23	133,36	133,36	133,36	134,50	134,50	134,50	134,50			
		1001 a 1299	165,06	165,06	165,06	166,21	166,21	166,21	167,35	167,35	167,35	168,50	168,50	168,50	168,50			
		1300 a 1649	205,90	205,90	205,90	206,51	206,51	206,51	207,13	207,13	207,13	207,74	207,74	207,74	207,74			
		>=1650	259,47	259,47	259,47	260,65	260,65	260,65	261,82	261,82	261,82	263,00	263,00	263,00	263,00			
		<=1000	154,63	154,63	154,63	155,92	155,92	155,92	157,21	157,21	157,21	158,50	158,50	158,50	158,50			
		1001 a 1299	207,48	207,48	207,48	208,35	208,35	208,35	209,21	209,21	209,21	210,08	210,08	210,08	210,08			
	>=0,90	1300 a 1649	245,09	245,09	245,09	245,09	245,09	245,09	245,09	245,09	245,09	245,09	245,09	245,09	245,09			

Tabela 3.1 – Exemplo de atribuições de metas para o processo PLTCM.

Tabela de Produtividade - CAPL																
Linha	Unid.	Ciclo	Faixa de espessura (mm)	Faixa de largura (mm)	jan/15	fev/15	mar/15	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15
CAPL	t/h	BAIXO	<=0,50	<=1000	39,53	39,53	39,53	39,82	39,82	39,82	40,11	40,11	40,11	40,40	40,40	40,40
				1001 a 1300	50,72	50,72	50,72	51,08	51,08	51,08	51,44	51,44	51,44	51,80	51,80	51,80
				1301 a 1500	56,54	56,54	56,54	56,86	56,86	56,86	57,18	57,18	57,18	57,50	57,50	57,50
			0,51 a 0,60	1001 a 1300	60,66	60,66	60,66	61,30	61,30	61,30	61,95	61,95	61,95	62,60	62,60	62,60
				<=1000	61,54	61,54	61,54	62,03	62,03	62,03	62,51	62,51	62,51	63,00	63,00	63,00
				1001 a 1300	77,34	77,34	77,34	77,34	77,34	77,34	77,34	77,34	77,34	77,34	77,34	77,34
			0,61 a 0,80	>1500	120,13	120,13	120,13	120,99	120,99	120,99	121,85	121,85	121,85	122,71	122,71	122,71
				1001 a 1300	91,59	91,59	91,59	92,33	92,33	92,33	93,06	93,06	93,06	93,80	93,80	93,80
				>1500	124,25	124,25	124,25	124,80	124,80	124,80	125,35	125,35	125,35	125,90	125,90	125,90
			0,81 a 1,00	1001 a 1300	95,87	95,87	95,87	96,76	96,76	96,76	97,64	97,64	97,64	98,53	98,53	98,53
				<=1000	79,43	79,43	79,43	80,51	80,51	80,51	81,60	81,60	81,60	82,68	82,68	82,68
				1001 a 1300	95,95	95,95	95,95	96,60	96,60	96,60	97,24	97,24	97,24	97,89	97,89	97,89
		>1,20	1301 a 1500	109,91	109,91	109,91	110,38	110,38	110,38	110,85	110,85	110,85	111,32	111,32	111,32	
			>1500	111,22	111,22	111,22	112,49	112,49	112,49	113,75	113,75	113,75	115,02	115,02	115,02	
			1001 a 1300	66,29	66,29	66,29	66,70	66,70	66,70	67,10	67,10	67,10	67,50	67,50	67,50	
		MÉDIO	0,51 a 0,60	<=1000	63,25	63,25	63,25	63,54	63,54	63,54	63,83	63,83	63,83	64,13	64,13	64,13
				1001 a 1300	79,08	79,08	79,08	79,49	79,49	79,49	79,89	79,89	79,89	80,30	80,30	80,30
				>1500	101,59	101,59	101,59	102,39	102,39	102,39	103,19	103,19	103,19	103,99	103,99	103,99
			0,61 a 0,80	1001 a 1300	82,87	82,87	82,87	83,58	83,58	83,58	84,29	84,29	84,29	85,00	85,00	85,00
				1301 a 1500	100,69	100,69	100,69	101,02	101,02	101,02	101,34	101,34	101,34	101,66	101,66	101,66
				>1500	106,10	106,10	106,10	107,07	107,07	107,07	108,03	108,03	108,03	109,00	109,00	109,00
			1,01 a 1,20	1001 a 1300	81,48	81,48	81,48	82,15	82,15	82,15	82,83	82,83	82,83	83,50	83,50	83,50
				1301 a 1500	100,47	100,47	100,47	100,98	100,98	100,98	101,49	101,49	101,49	102,00	102,00	102,00
				>1500	109,79	109,79	109,79	110,03	110,03	110,03	110,26	110,26	110,26	110,50	110,50	110,50
	ALTO		0,61 a 0,80	1001 a 1300	75,27	75,27	75,27	75,51	75,51	75,51	75,76	75,76	75,76	76,00	76,00	76,00
				1301 a 1500	89,37	89,37	89,37	89,75	89,75	89,75	90,12	90,12	90,12	90,50	90,50	90,50
				1001 a 1300	71,74	71,74	71,74	72,16	72,16	72,16	72,58	72,58	72,58	73,00	73,00	73,00
		>1,20	<=1000	69,77	69,77	69,77	70,52	70,52	70,52	71,27	71,27	71,27	72,02	72,02	72,02	
			1001 a 1300	77,78	77,78	77,78	78,52	78,52	78,52	79,26	79,26	79,26	80,00	80,00	80,00	
			1301 a 1500	94,83	94,83	94,83	95,38	95,38	95,38	95,94	95,94	95,94	96,50	96,50	96,50	
	MÉDIO DI/PI	0,61 a 0,80	1001 a 1300	58,90	58,90	58,90	59,60	59,60	59,60	60,30	60,30	61,00	61,00	61,00	61,00	
			<=1000	64,44	64,44	64,44	64,44	64,44	64,44	64,44	64,44	64,44	64,44	64,44	64,44	
			1001 a 1300	77,22	77,22	77,22	78,14	78,14	78,14	79,07	79,07	79,07	80,00	80,00	80,00	
	1301 a 1500	84,80	84,80	84,80	85,65	85,65	85,65	86,50	86,50	86,50	87,36	87,36	87,36			

Tabela 3.2 – Exemplo de atribuições de metas para o processo CAPL.

As tabelas 3.3 e 3.4 mostram a definição das condições de contorno, limites inferior e superior de especificação calculados através da fórmula dos quartis para as metas de produtividade e os resultados médios de produtividade das faixas de produtividade das linhas PLTCM e CAPL. Para estes resultados foram considerados parâmetros relacionados a qualidade, dimensão e ciclo de recozimento.

Faixa	Tipo	Espessura	Largura	LSI	Produtividade Real	LSE
10	DUREZA ALTA	0,60 a 0,89	1001 a 1299	62,5	156,6	248,7
13	DUREZA ALTA	>=0,90	<=1000	77,2	153,6	325,0
18	IF	0,40 a 0,49	1001 a 1299	99,8	135,7	187,7
22	IF	0,50 a 0,59	1001 a 1299	91,3	152,8	233,6
23	IF	0,50 a 0,59	1300 a 1649	127,2	190,3	270,6
25	IF	0,60 a 0,89	<=1000	81,1	144,5	230,0
26	IF	0,60 a 0,89	1001 a 1299	107,6	184,4	279,8
27	IF	0,60 a 0,89	1300 a 1649	132,8	223,3	327,2
28	IF	0,60 a 0,89	>=1650	137,3	232,2	339,0
29	IF	>=0,90	<=1000	82,1	161,3	275,3
30	IF	>=0,90	1001 a 1299	114,6	217,2	334,4
31	IF	>=0,90	1300 a 1649	132,1	259,7	408,2
33	OUTROS	0,40 a 0,49	<=1000	49,2	87,5	178,2
34	OUTROS	0,40 a 0,49	1001 a 1299	104,6	138,3	186,1
35	OUTROS	0,40 a 0,49	1300 a 1649	84,1	128,4	188,3
38	OUTROS	0,50 a 0,59	1001 a 1299	118,6	153,5	205,6
41	OUTROS	0,60 a 0,89	<=1000	83,9	129,0	201,6
42	OUTROS	0,60 a 0,89	1001 a 1299	89,9	174,1	280,6
43	OUTROS	0,60 a 0,89	1300 a 1649	119,7	216,9	327,4
44	OUTROS	0,60 a 0,89	>=1650	200,6	263,0	344,4
45	OUTROS	>=0,90	<=1000	96,1	161,9	264,3
46	OUTROS	>=0,90	1001 a 1299	137,0	213,1	305,8
47	OUTROS	>=0,90	1300 a 1649	138,1	253,2	379,5

Tabela 3.3 – Limites de especificação das faixas a serem analisadas PLTCM.

Faixa	Ciclo	Espessura	Largura	LSI	Produtividade Real	LSE
1	BAIXO	<=0,50	<=1000	32,7	39,9	48,0
2	BAIXO	<=0,50	1001 a 1300	37,0	51,0	65,3
3	BAIXO	<=0,50	1301 a 1500	51,1	55,8	59,4
6	BAIXO	0,51 a 0,60	1001 a 1300	41,9	62,6	83,7
9	BAIXO	0,61 a 0,80	<=1000	44,9	62,3	74,6
10	BAIXO	0,61 a 0,80	1001 a 1300	59,0	81,8	109,1
12	BAIXO	0,61 a 0,80	>1500	106,8	121,2	144,1
14	BAIXO	0,81 a 1,00	1001 a 1300	63,7	94,7	126,0
16	BAIXO	0,81 a 1,00	>1500	116,1	133,5	156,5
18	BAIXO	1,01 a 1,20	1001 a 1300	69,4	99,9	139,7
21	BAIXO	>1,20	<=1000	52,1	79,9	111,4
22	BAIXO	>1,20	1001 a 1300	51,0	94,8	145,2
23	BAIXO	>1,20	1301 a 1500	89,3	113,1	143,0
24	BAIXO	>1,20	>1500	57,7	113,3	159,5
30	MÉDIO	0,51 a 0,60	1001 a 1300	49,7	68,9	80,6
33	MÉDIO	0,61 a 0,80	<=1000	46,5	64,3	82,2
34	MÉDIO	0,61 a 0,80	1001 a 1300	54,8	78,0	107,9
35	MÉDIO	0,61 a 0,80	1301 a 1500	71,9	95,6	119,9
36	MÉDIO	0,61 a 0,80	>1500	90,2	106,4	126,7
38	MÉDIO	0,81 a 1,00	1001 a 1300	58,1	82,4	111,1
39	MÉDIO	0,81 a 1,00	1301 a 1500	77,8	101,1	128,6
40	MÉDIO	0,81 a 1,00	>1500	88,8	111,7	137,0
42	MÉDIO	1,01 a 1,20	1001 a 1300	51,4	84,5	116,0
43	MÉDIO	1,01 a 1,20	1301 a 1500	75,1	102,3	133,5
48	MÉDIO	>1,20	>1500	84,2	110,9	143,1
58	ALTO	0,61 a 0,80	1001 a 1300	54,6	75,7	98,0
59	ALTO	0,61 a 0,80	1301 a 1500	75,8	91,2	108,1
66	ALTO	1,01 a 1,20	1001 a 1300	56,2	71,5	91,9
69	ALTO	>1,20	<=1000	57,9	69,5	80,3
70	ALTO	>1,20	1001 a 1300	55,4	78,4	103,5
71	ALTO	>1,20	1301 a 1500	76,1	98,1	124,0
82	MÉDIO DI/PI	0,61 a 0,80	1001 a 1300	48,3	55,7	66,1
94	MÉDIO DI/PI	>1,20	1001 a 1300	55,2	72,9	90,4
95	MÉDIO DI/PI	>1,20	1301 a 1500	76,4	85,4	95,9

Tabela 3.4 – Limites de especificação das faixas a serem analisadas CAPL.

A partir da coleta e do tratamento dos dados foram realizados ajustes de modelos probabilísticos que descrevem os índices de produtividade dos processos, bem como testes estatísticos que apontam a porcentagem de amostras dentro de cada faixa que não irão atingir o nível de produtividade desejado. No capítulo 4 apresentamos os resultados destas análises.

4. ANÁLISES DAS METAS DE PRODUTIVIDADE

Este capítulo apresenta as análises das metas de produtividade extraídas dos dados coletados nos processos da empresa. O objetivo principal é verificar o melhor modelo probabilístico que explique a produtividade definida em cada uma das faixas apresentadas no Capítulo 3. A partir do melhor modelo de distribuição, é possível verificar se a produtividade segundo os principais parâmetros de qualidade, dimensão e ciclo de recozimento irá alcançar o limite esperado (definido através dos procedimentos internos da empresa).

4.1 Definição dos Modelos Probabilísticos

Nesta seção apresentamos a análises de diversos modelos probabilísticos, buscando encontrar aquele que melhor descreve o índice de produtividade P_p . A melhor curva de distribuição que explica o índice em estudo foi definida através do software Input Analyser (Arena)*. Os dados apresentados foram coletados entre período de 01 de janeiro de 2015 a 31 de dezembro de 2015.

Recapitulando, o índice de produtividade P_p é o valor da largura da tolerância dividido pelo desempenho do processo, independente da centralização do processo. Ele é expresso como a largura da tolerância dividida por seis vezes o desvio padrão da população. A classificação do desempenho do processo se baseia nos valores obtidos de P_p conforme abaixo:

$P_p = 1,00$ – Mostra que o processo atende a produtividade esperada.

$P_p > 1,00$ – Mostra que o processo excede a produtividade esperada.

$P_p < 1,00$ – Mostra que o processo não atende a produtividade esperada.

Neste trabalho foram considerados os seguintes modelos probabilísticos: Normal, Lognormal, Exponencial, Gamma e Weibull, com as seguintes distribuições.

* <http://www.paragon.com.br/>

Lognormal: $px(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}}$

Exponencial: $px(x) = \lambda e^{-\lambda x}$

Gamma: $px(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\beta x}$

Normal: $Px(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$

Weibull: $F(x) = \alpha \cdot \beta \cdot (x - \gamma)^{\beta-1} \cdot e^{-\alpha(x-\gamma)^\beta}$

Parâmetros:

σ = desvio padrão.

μ = média.

λ = parâmetro de taxa de distribuição.

Γ = Função gama.

α = parâmetro de escala. Está relacionado com planicidade da curva. Quando α varia a curva pode se tornar mais achatada ou pontiaguda.

β = parâmetro de forma. É o mais importante parâmetro e reflete o padrão da curva.

γ = é o menor valor possível de X. Quase sempre é assumido como zero.

O modelo probabilístico que melhor descreve os dados em análise foi determinado através do teste de Chi-quadrado de aderência, que foi utilizado para testar a adequabilidade de um modelo probabilístico a um conjunto de dados observados. Para aplicar o teste as seguintes considerações precisam ser satisfeitas: as faixas são independentes, os dados de cada faixa são selecionados aleatoriamente, as observações devem ser frequências ou contagens, cada observação pertence a uma e somente uma faixa e as amostras devem ser relativamente grandes.

Percebe-se que as frequências observadas são obtidas diretamente dos dados, enquanto que as frequências esperadas são calculadas a partir destas, ou seja, frequência observada para cada classe e frequência esperada para aquela classe.

Este teste verifica se uma distribuição de frequências de dados se ajusta a um modelo teórico de distribuição pré-determinado [Boero, 2004], e é definido por:

$$\chi^2 = \frac{\sum_k (f_o - f_e)^2}{f_e}$$

K = número de classes ou intervalos

f_o = frequência observada nas classes

f_e = frequência esperada nas classes

\sum_k = somatório de todas as classes

A aderência à distribuição é o teste de hipótese realizado, nele mostra-se se determinada afirmação sobre um parâmetro populacional é verdadeira. Para testar uma hipótese deve-se proceder a tomada de uma amostra aleatória, computar o teste estatístico adequado e então rejeitar ou falhar em rejeitar a hipótese nula.

A hipótese nula é que, a produção em cada faixa se adere à distribuição proposta.

4.2. Resultados Encontrados

A seguir serão mostradas as análises de aderência das faixas considerando alguns modelos probabilísticos, concentrando os resultados no modelo probabilístico de melhor aderência, utilizando o teste de Chi-quadrado. Além disso, iremos apresentar as análises de capacidade destas faixas, considerando-se os limites de especificação definidos e as metas propostas.

No primeiro conjunto de gráficos, *Probability Plot of Faixa "n"*, teremos na abscissa a produtividade em toneladas/hora e na ordenada a porcentagem acumulada da quantidade de ocorrências em determinada produtividade.

Para os gráficos de análise de produtividade alcançada, serão apresentados os seguintes parâmetros:

1. **Shape** – efeito da forma na distribuição. Algumas distribuições podem assumir até quatro tipos de forma diferentes. (NA*)
2. **Scale** – escala da função de distribuição. (NA)
3. **N** – número de amostras, se a amostra trabalhada é significativa (NA).
4. **AD** – Anderson Darling - Se o valor-p do teste de Anderson-Darling for menor do que o nível de significância escolhido (normalmente 0,05 ou 0,10), conclua que os dados não seguem a distribuição especificada (NA).
5. **P-value** - Para um nível de significância, α , escolhido antes de você conduzir seu teste, um P-value menor do que α indica que os dados não seguem aquela distribuição.
6. **LSL** - Limite inferior de especificação calculado conforme os dados.
7. **Target** – Valor visado/alvo. (NA)
8. **USL** – Limite superior de especificação calculado conforme os dados.
9. **Sample mean** – média da amostral/populacional. (NA)
10. **Sample N** – tamanho da amostra (quantidade de bobinas processadas).
11. **Pp** – índice de desempenho do processo.
12. **PPL** - Mede quão perto a média do processo está chegando do limite de especificação inferior. (NA)
13. **PPU** - Mede quão perto a média do processo está chegando do limite de especificação superior. (NA)
14. **Ppk** - índice de desempenho de centralização do processo. (NA)
15. **PPM < LSL** – Parte por 10.000 abaixo da especificação.
16. **PPM > USL** – parte por 10.000 acima da especificação.
17. **PPM Total** – (PPM < LSL) + (PPM > USL) (NA)

**NA – parâmetro não utilizado na presente análise.*

Conforme descrito na seção 4.1, diversos modelos probabilísticos foram considerados para descrever a distribuição de produtividade Pp. As figuras 4.9 a 4.12 mostram testes realizados com as distribuições Normal e Exponencial. Podemos notar que estas distribuições não resultaram em valores adequados de p-value. Cabe lembrar que, é de sua importância em ter o melhor modelo probabilístico, já que a capacidade ou não da faixa depende deste modelo.

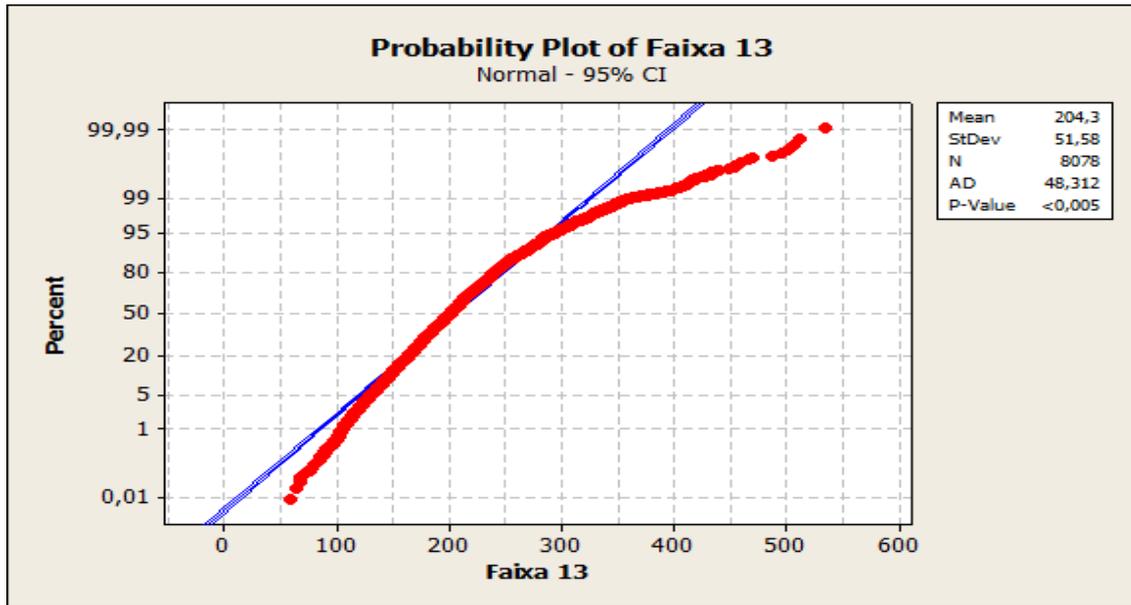


Gráfico 4.9 – Teste da distribuição normal PLTCM (faixa 13).

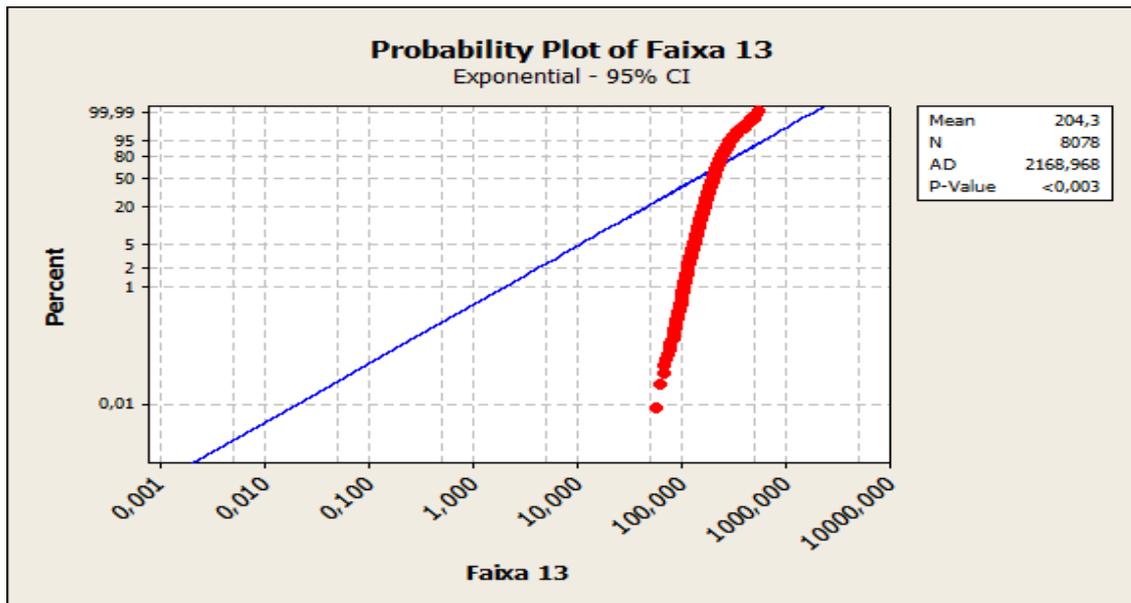


Gráfico 4.10 – Teste da distribuição exponencial PLTCM (faixa 13).

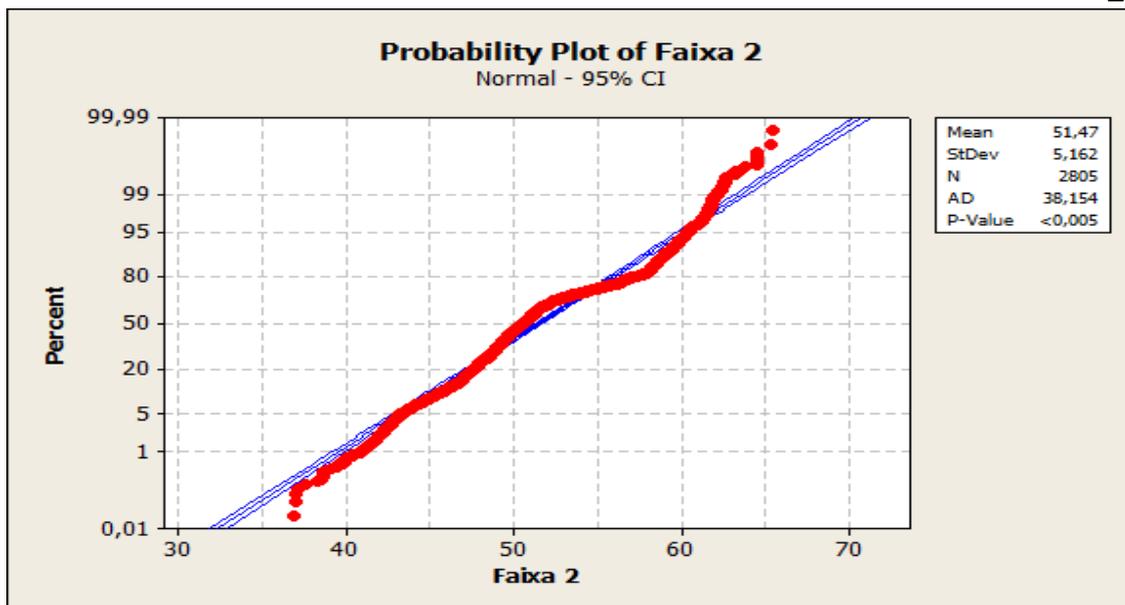


Gráfico 4.11 – Teste da distribuição normal CAPL (faixa 2).

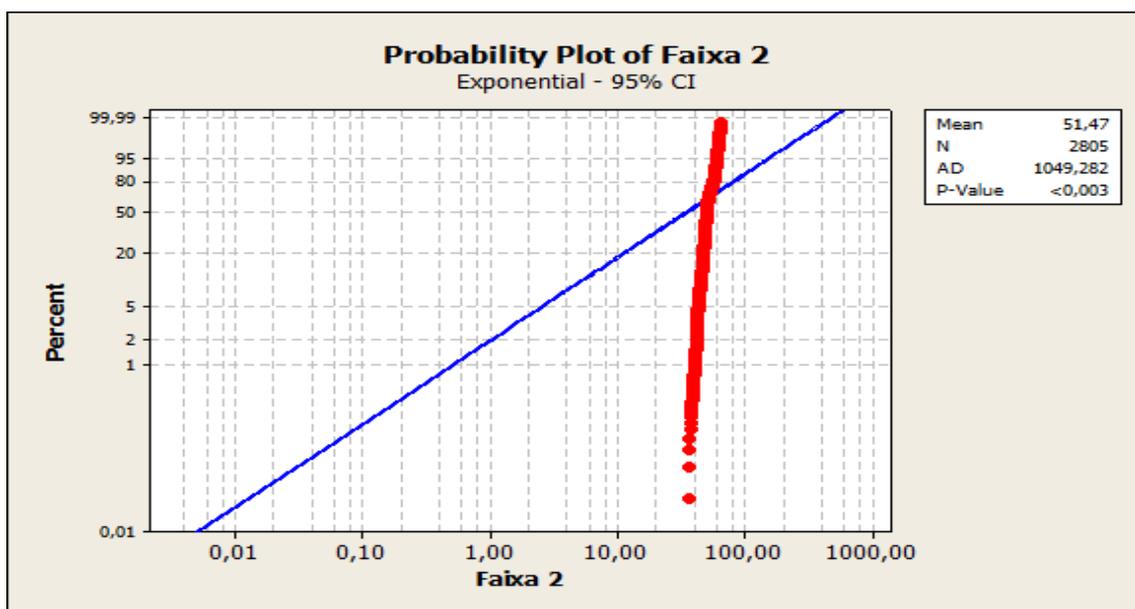


Gráfico 4.12 – Teste da distribuição exponencial CAPL (faixa 2).

4.2.1 Modelos Probabilísticos e Análise de Capacidade – PLTCM (Pickling Line and Tandem Cold Mill)

Esta seção apresenta o conjunto de resultados do melhor modelo probabilístico e a respectiva análise de capacidade descritas no Capítulo 3, considerando o processo PLTCM.

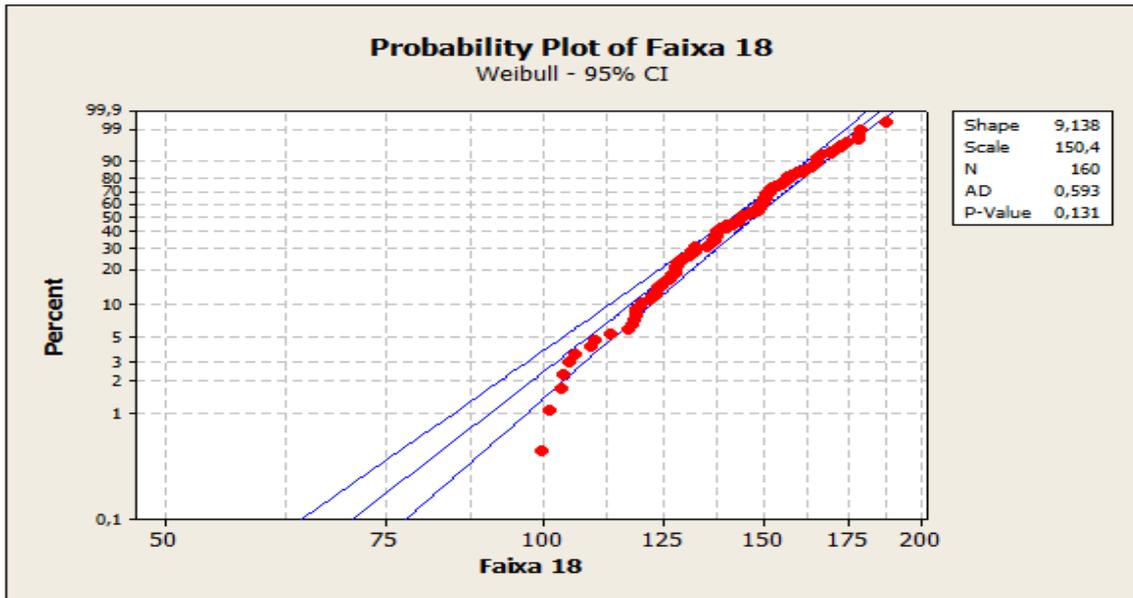


Gráfico 4.13 – Plotagem da probabilidade (faixa 18).

O valor de **p** indica que os dados desta faixa se aderem à distribuição proposta, ou seja, a distribuição Weibull.

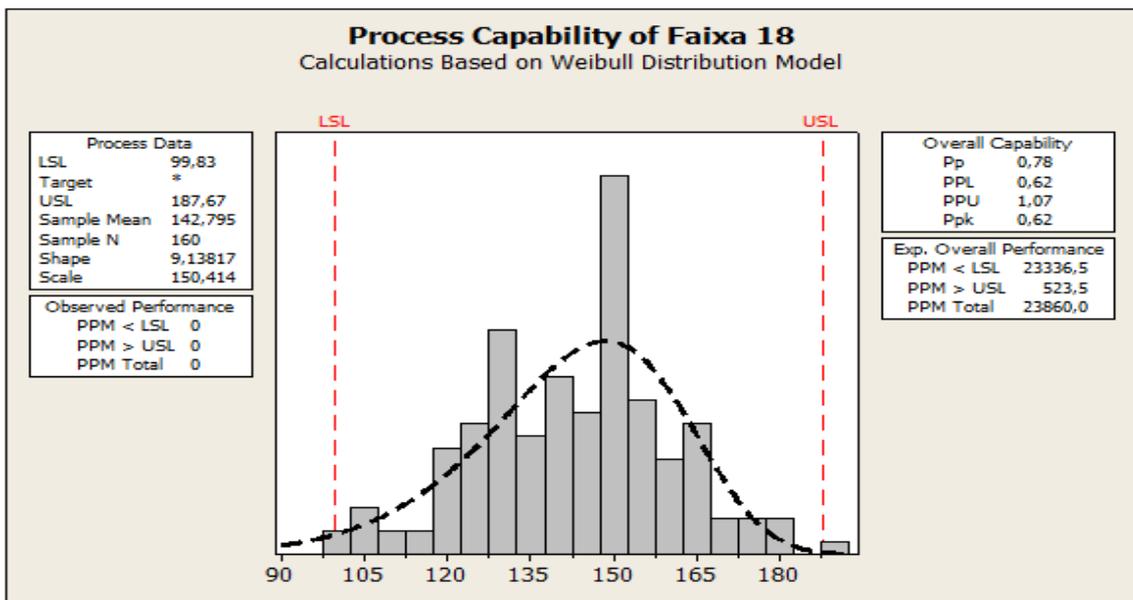


Gráfico 4.14 – Capabilidade do processo (faixa 18)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 2,33% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall (PPM < LSL).

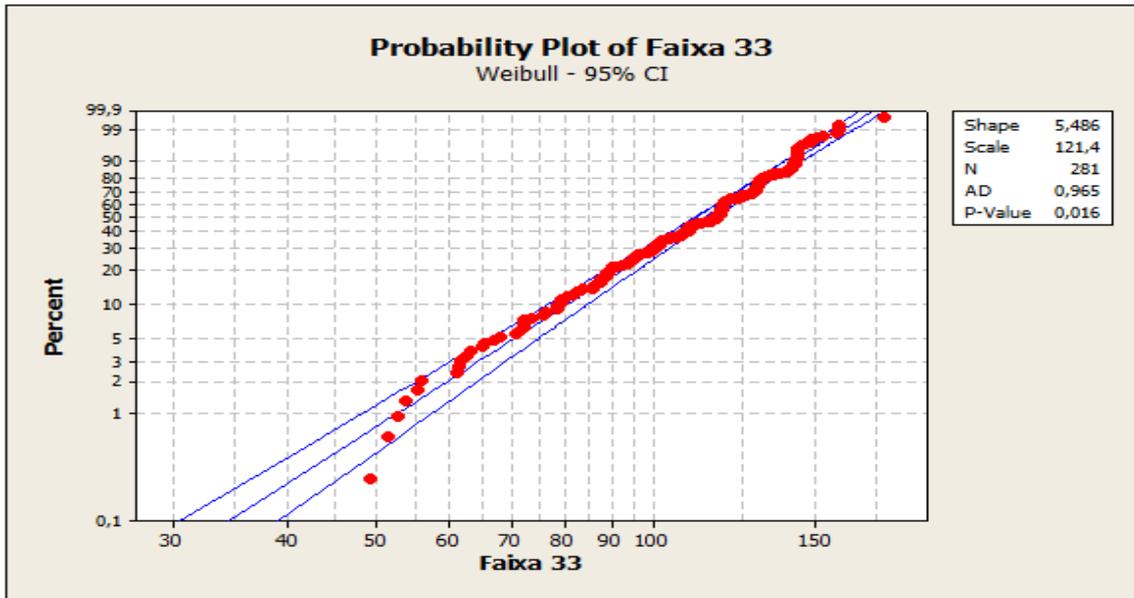


Gráfico 4.15 – Plotagem da probabilidade (faixa 33).

O valor de **p** indica que os dados desta faixa se aderem à distribuição proposta, ou seja, a distribuição Weibull.

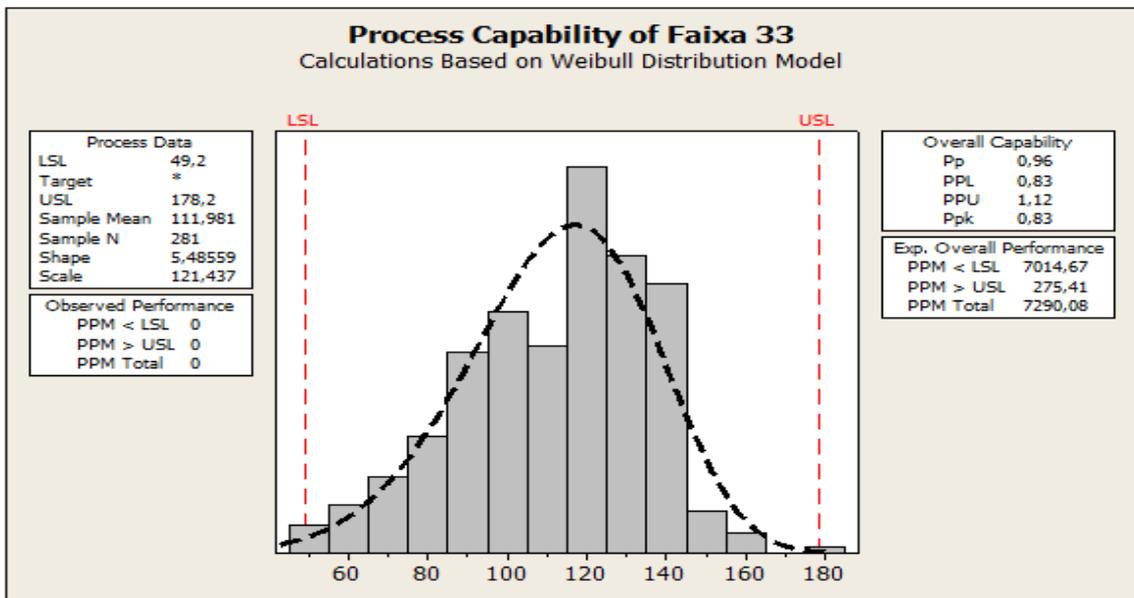


Gráfico 4.16 – Capabilidade do processo (faixa 33)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 0,7% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

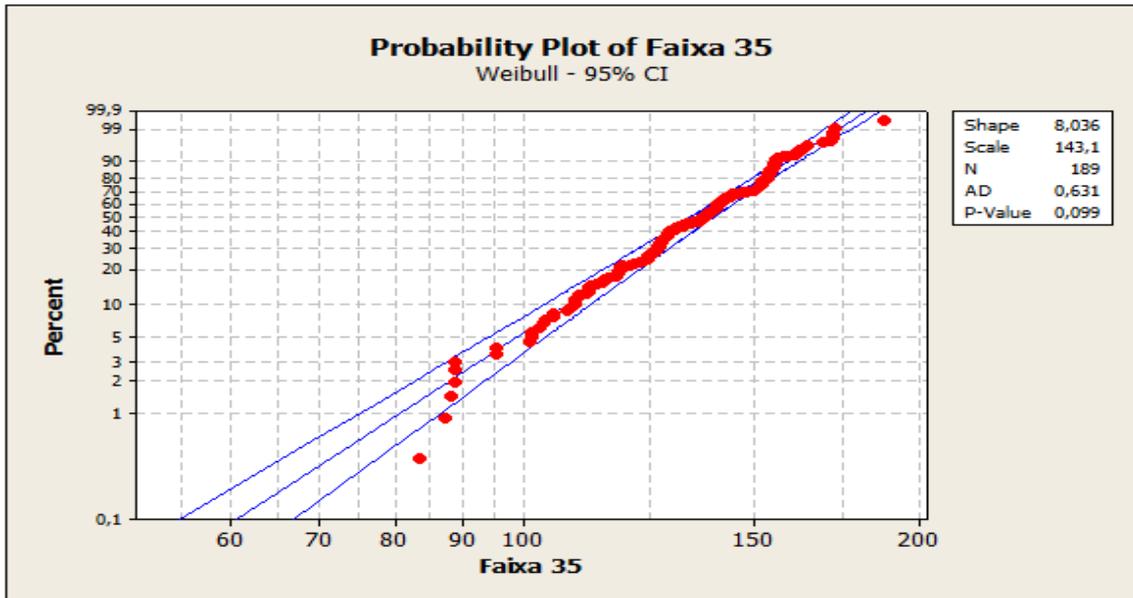


Gráfico 4.17 – Plotagem da probabilidade (faixa 35).

O valor de **p** indica que os dados desta faixa se aderem à distribuição proposta, ou seja, a distribuição Weibull.

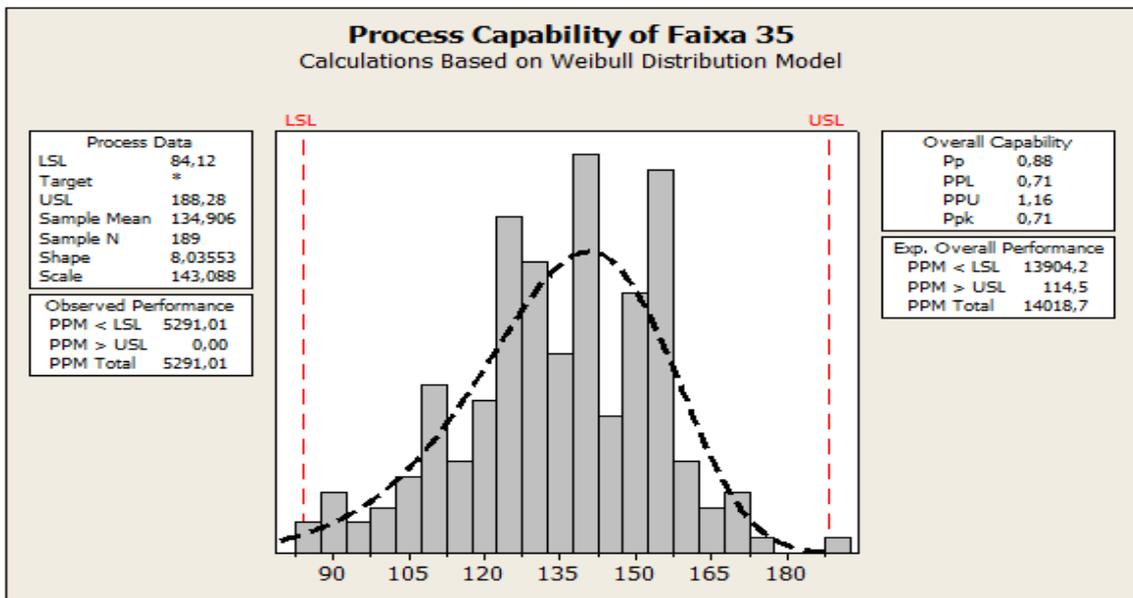


Gráfico 4.18 – Capabilidade do processo (faixa 35)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 1,39% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

Além das faixas de produtividade já apresentadas para o PLTCM, temos a seguir as faixas que utilizamos a distribuição de Weibull, apesar de valores de P-value menores que 0,01, devido ao fato do Input Analyser indicar como a distribuição mais apropriada para aquele conjunto de dados.

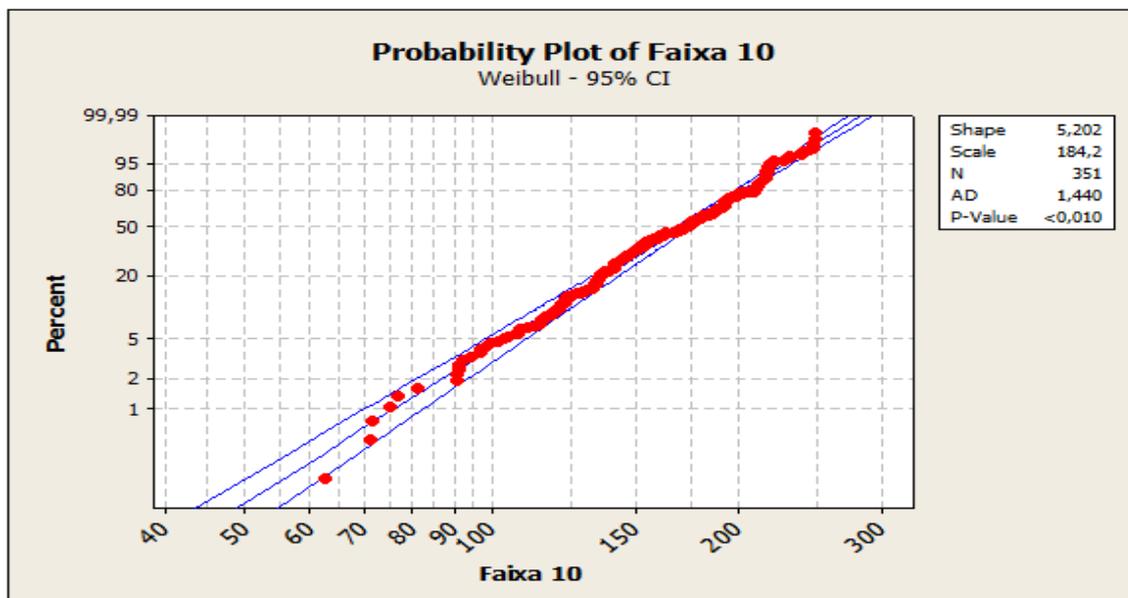


Gráfico 4.19 – Plotagem da probabilidade (faixa 10).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

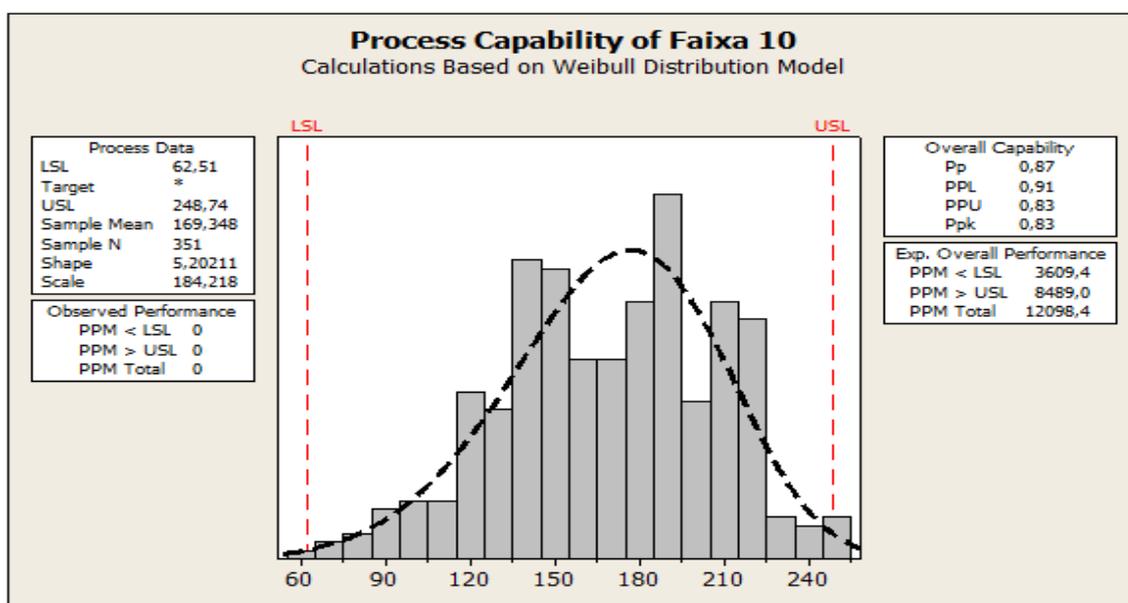


Gráfico 4.20 – Capabilidade do processo (faixa 10).

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 0,36% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

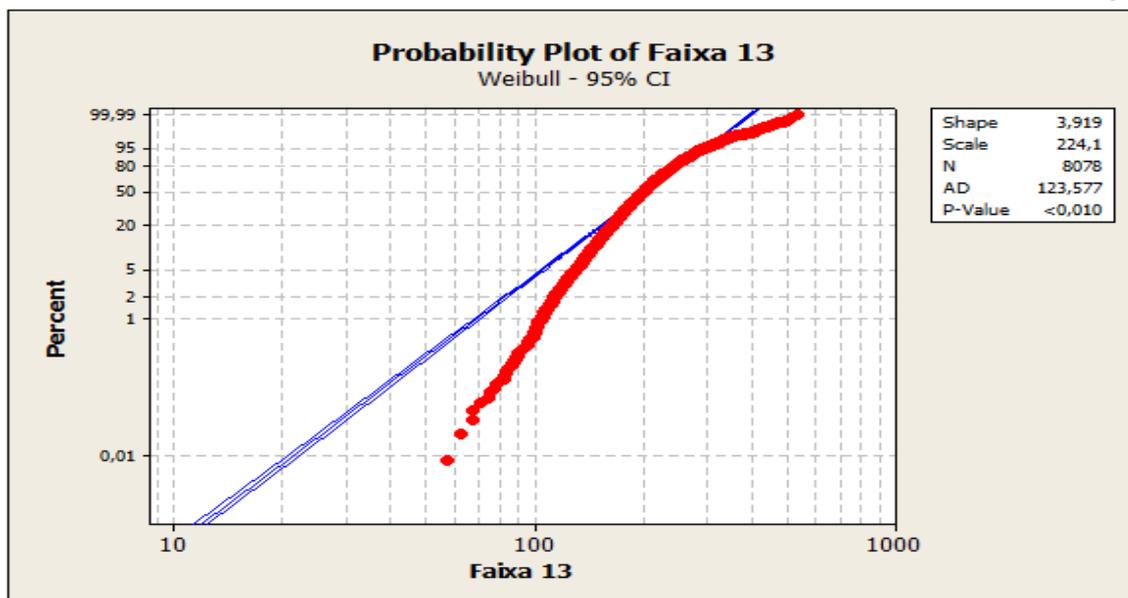


Gráfico 4.21 – Plotagem da probabilidade (faixa 13).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

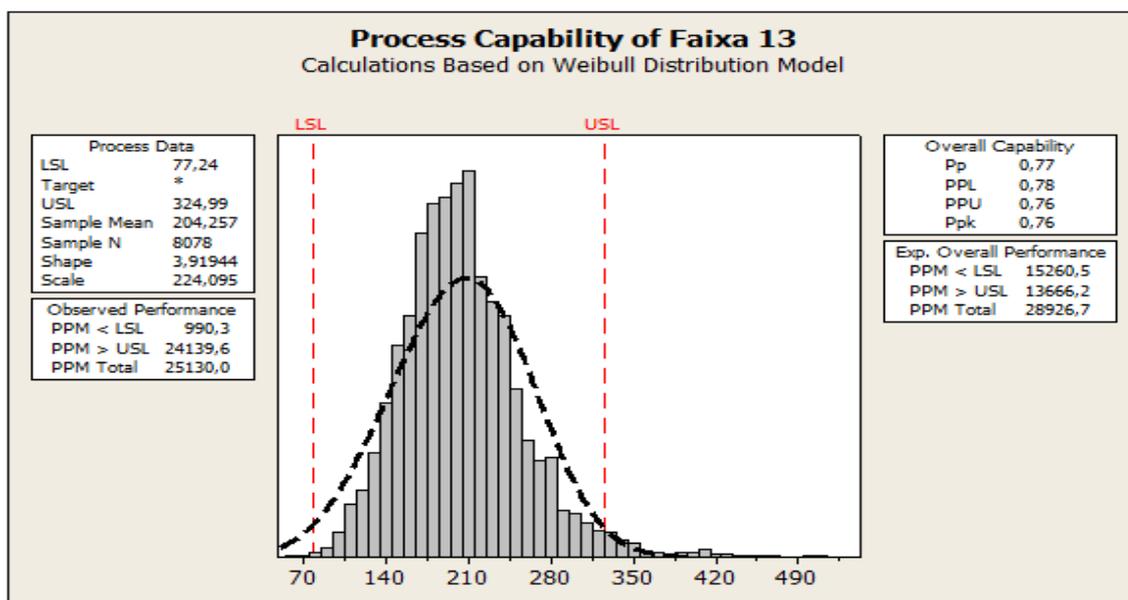


Gráfico 4.22 – Capabilidade do processo (faixa 13)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 1,52% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

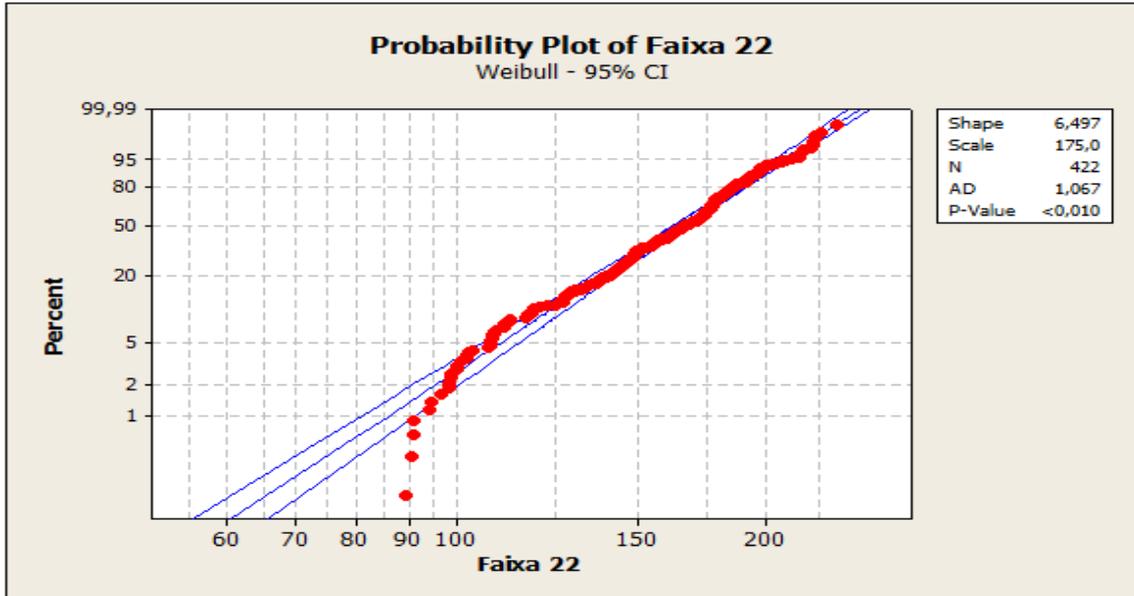


Gráfico 4.23 – Plotagem da probabilidade (faixa 22).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

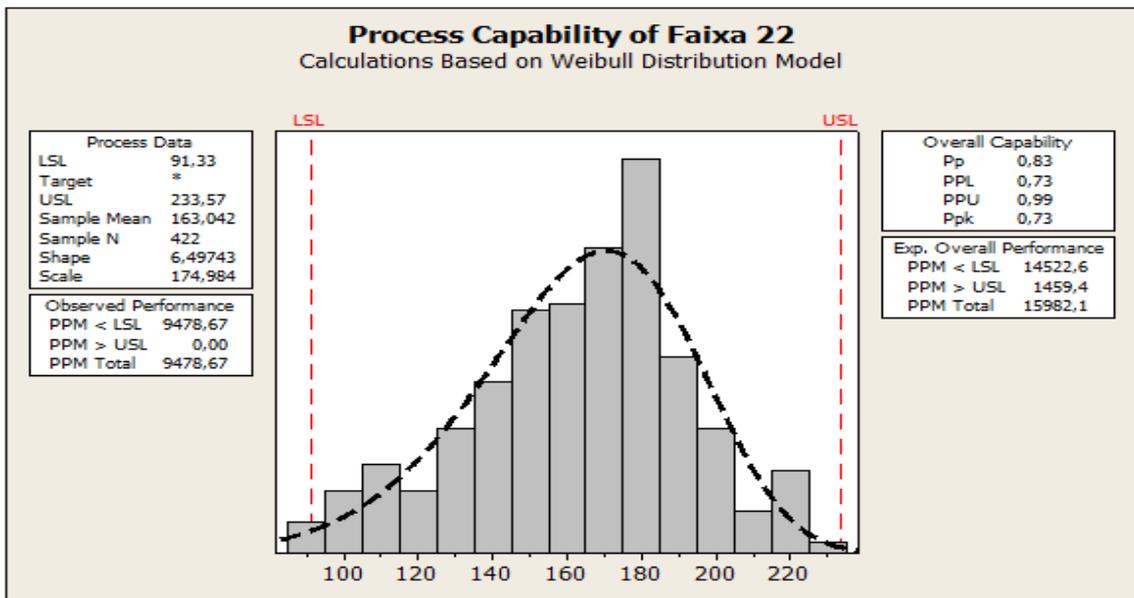


Gráfico 4.24 – Capabilidade do processo (faixa 22)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 1,45% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

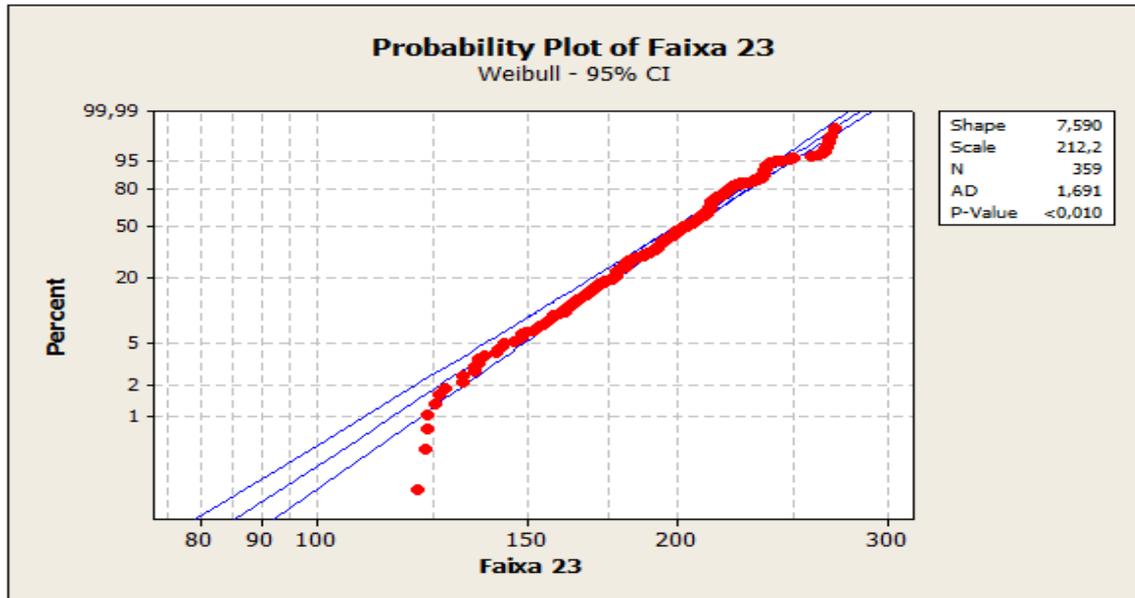


Gráfico 4.25 – Plotagem da probabilidade (faixa 23).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

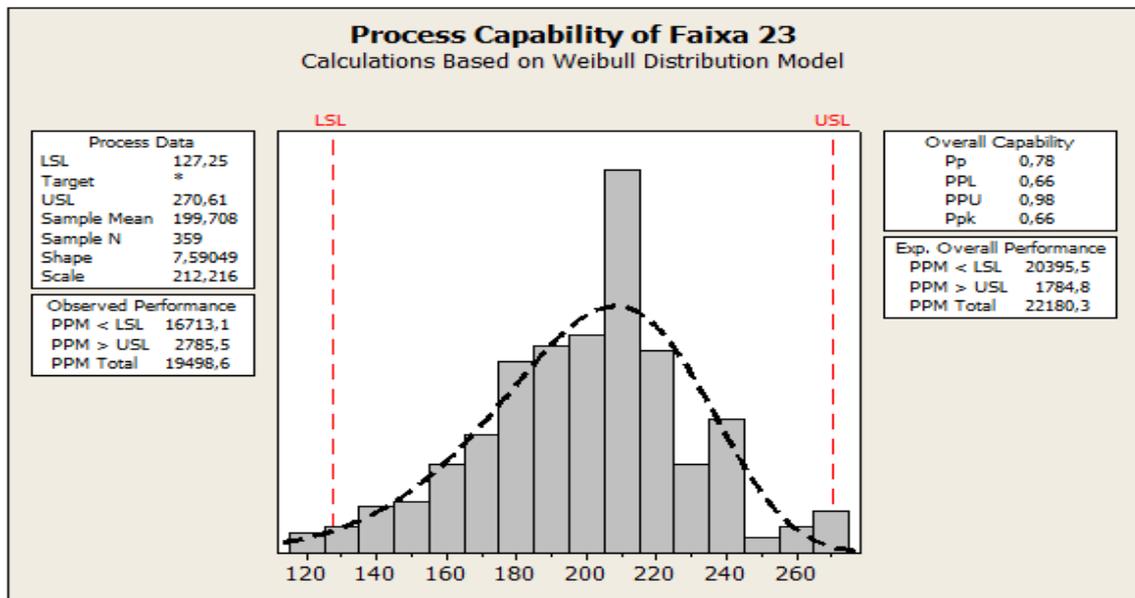


Gráfico 4.26 – Capabilidade do processo (faixa 23)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 2,03% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

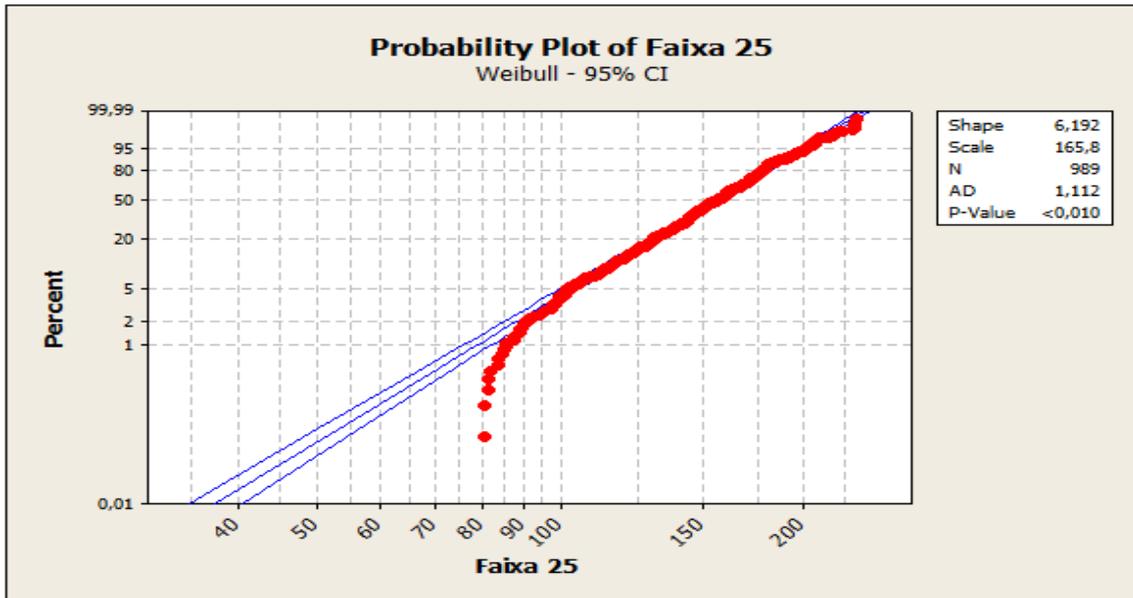


Gráfico 4.27 – Plotagem da probabilidade (faixa 25).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

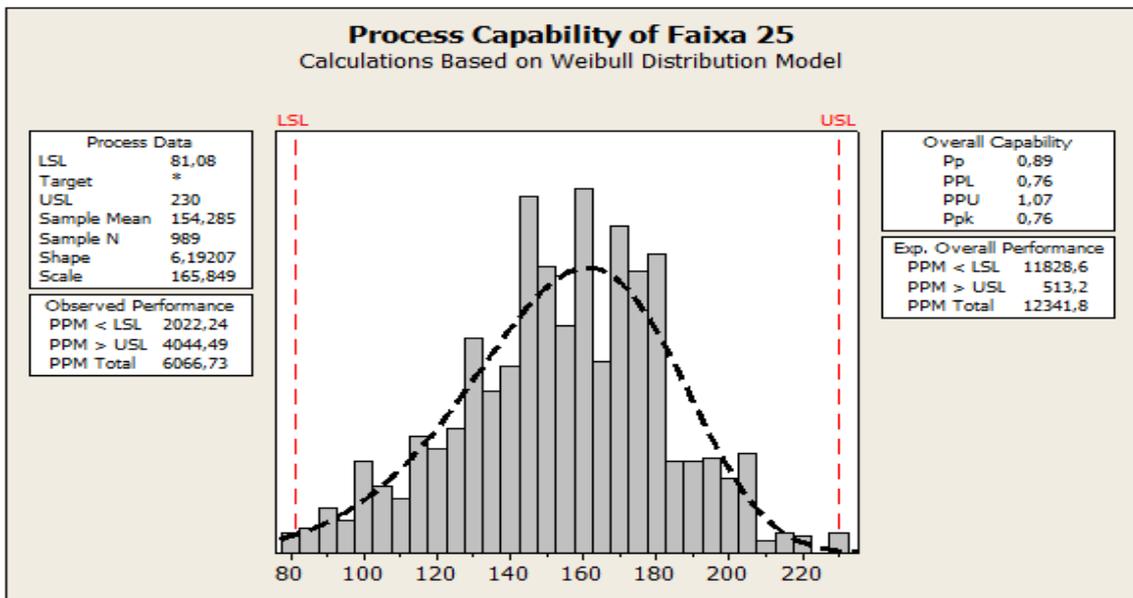


Gráfico 4.28 – Capabilidade do processo (faixa 25)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 1,18% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

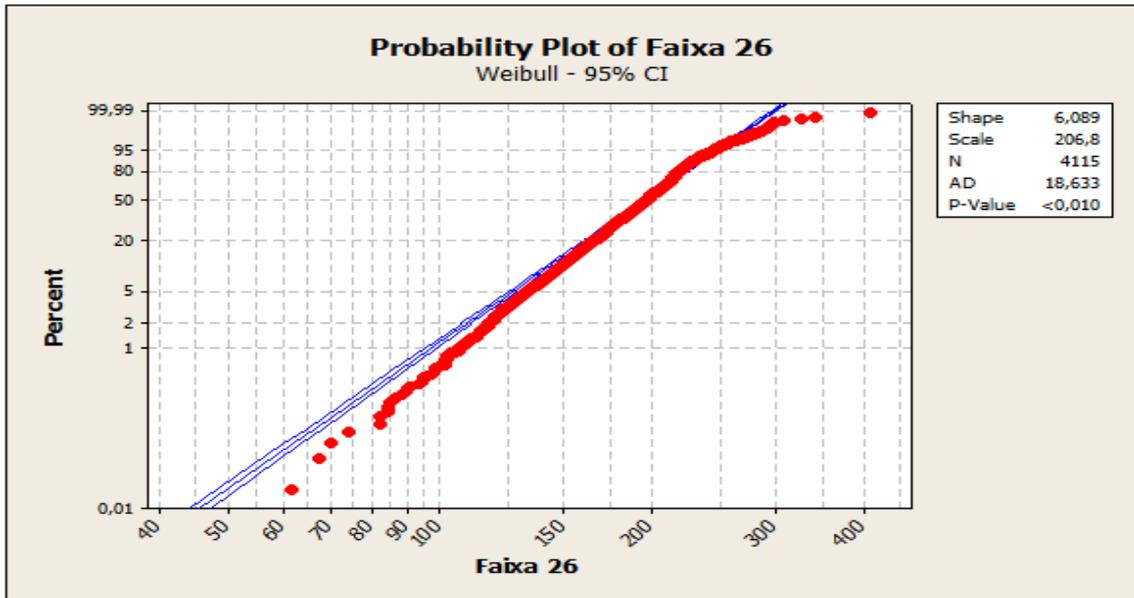


Gráfico 4.29 – Plotagem da probabilidade (faixa 26).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

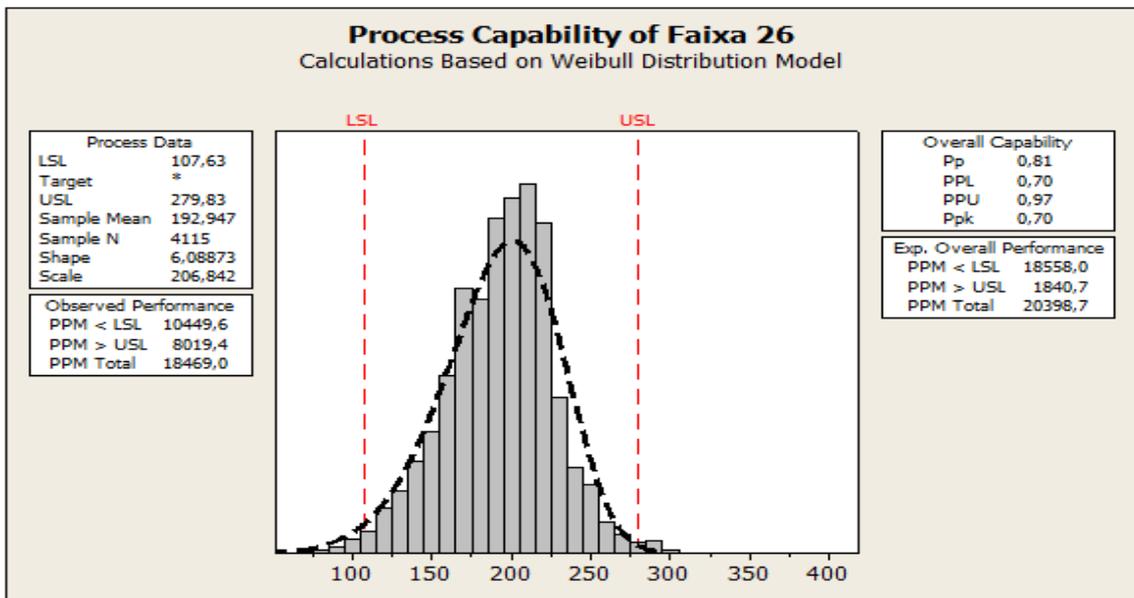


Gráfico 4.30 – Capabilidade do processo (faixa 26)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 1,85% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

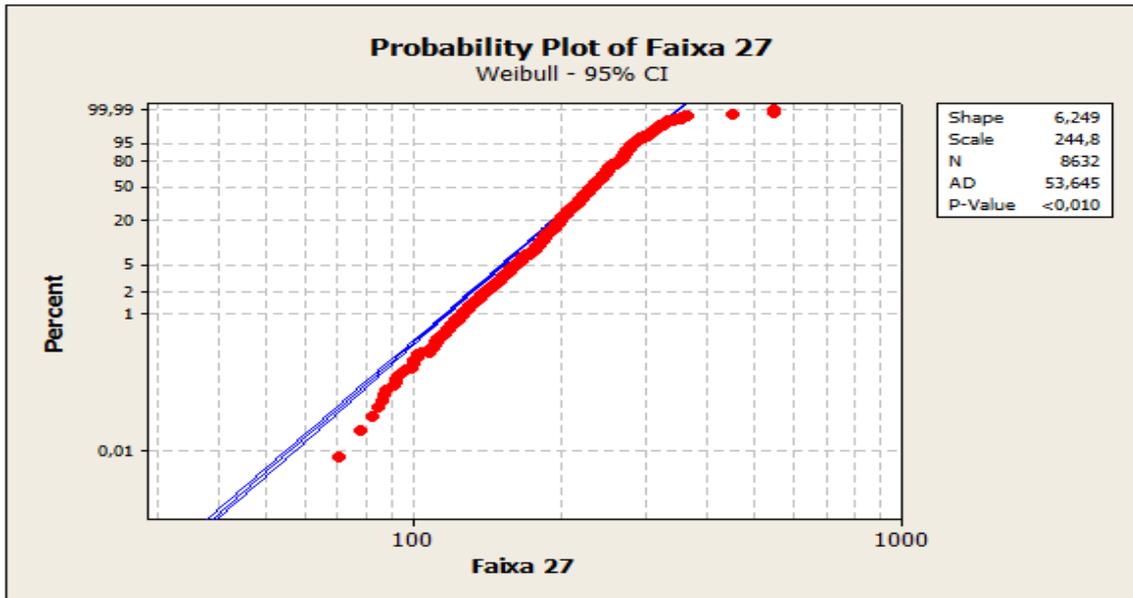


Gráfico 4.31 – Plotagem da probabilidade (faixa 27).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

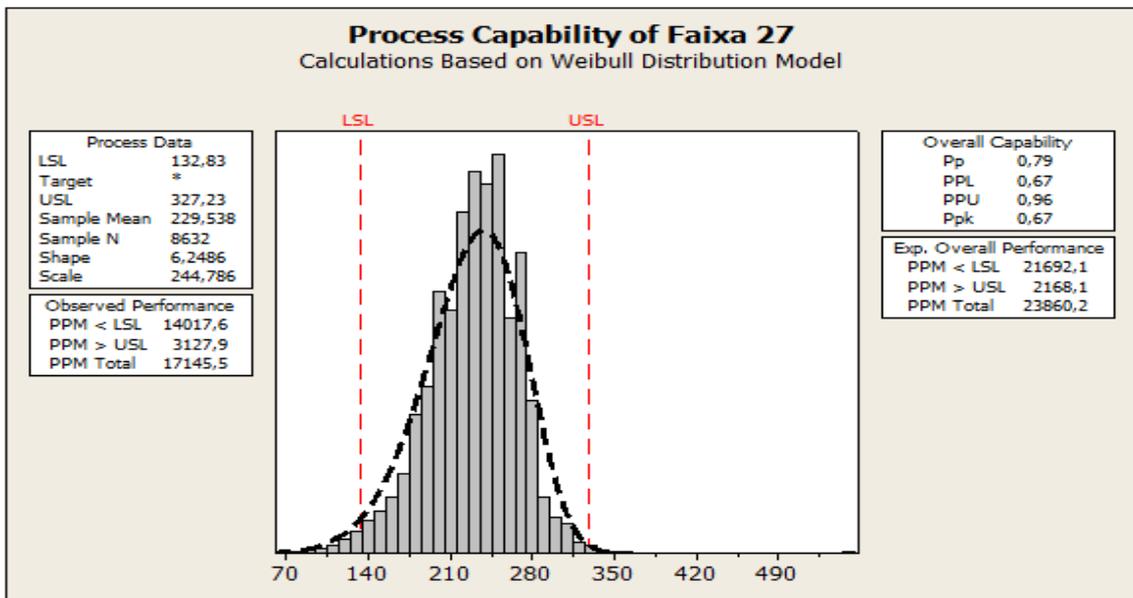


Gráfico 4.32 – Capabilidade do processo (faixa 27)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 2,17% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

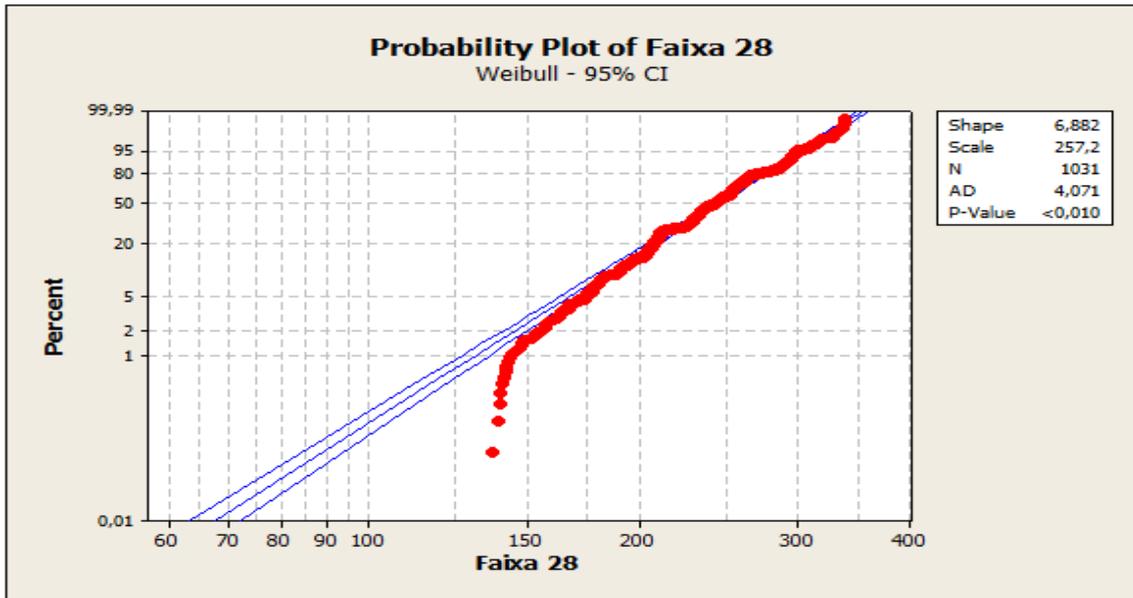


Gráfico 4.33 – Plotagem da probabilidade (faixa 28).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

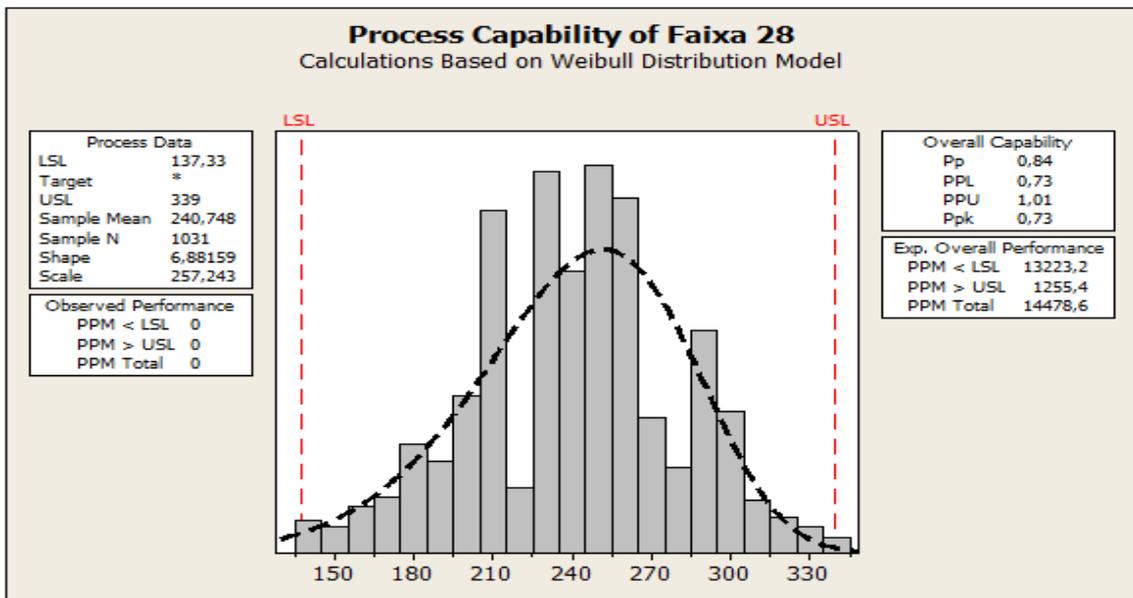


Gráfico 4.34 – Capabilidade do processo (faixa 28)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 1,32% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

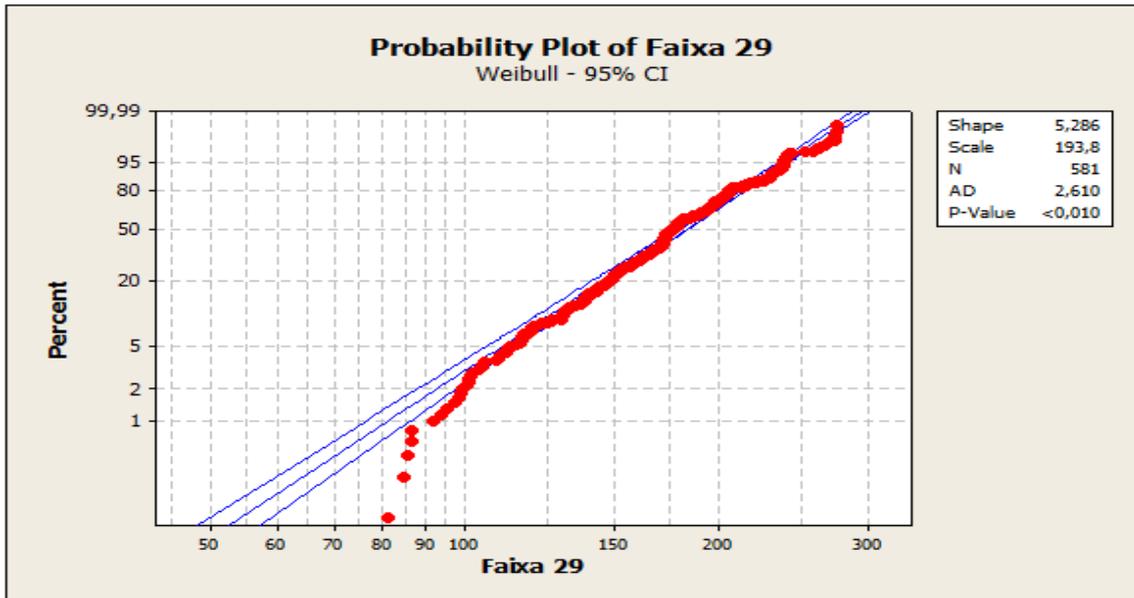


Gráfico 4.35 – Plotagem da probabilidade (faixa 29).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

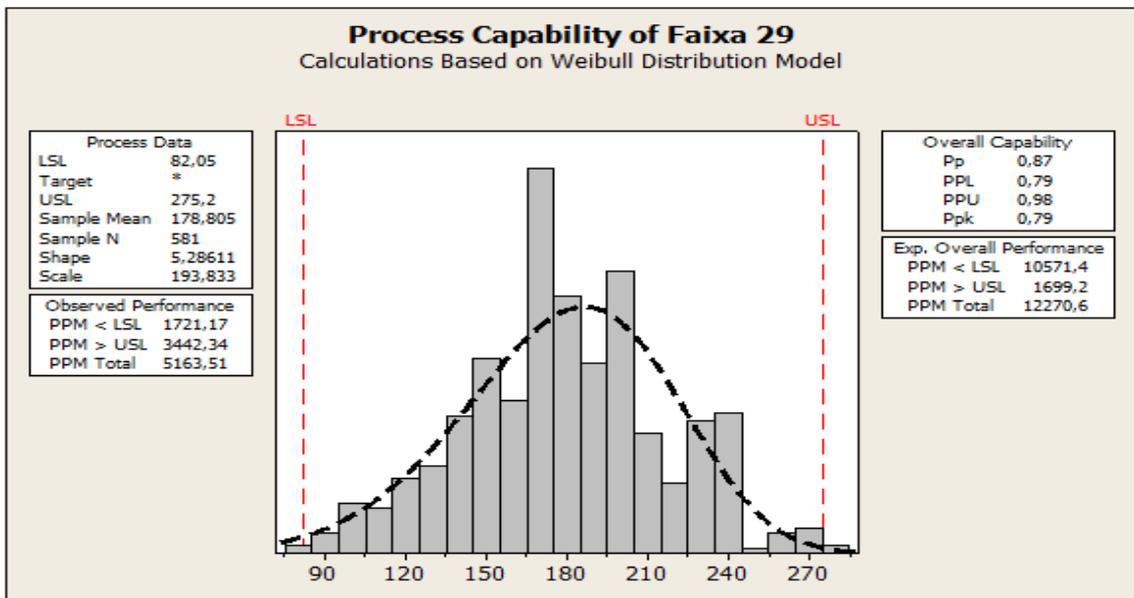


Gráfico 4.36 – Capabilidade do processo (faixa 29)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 1,06% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

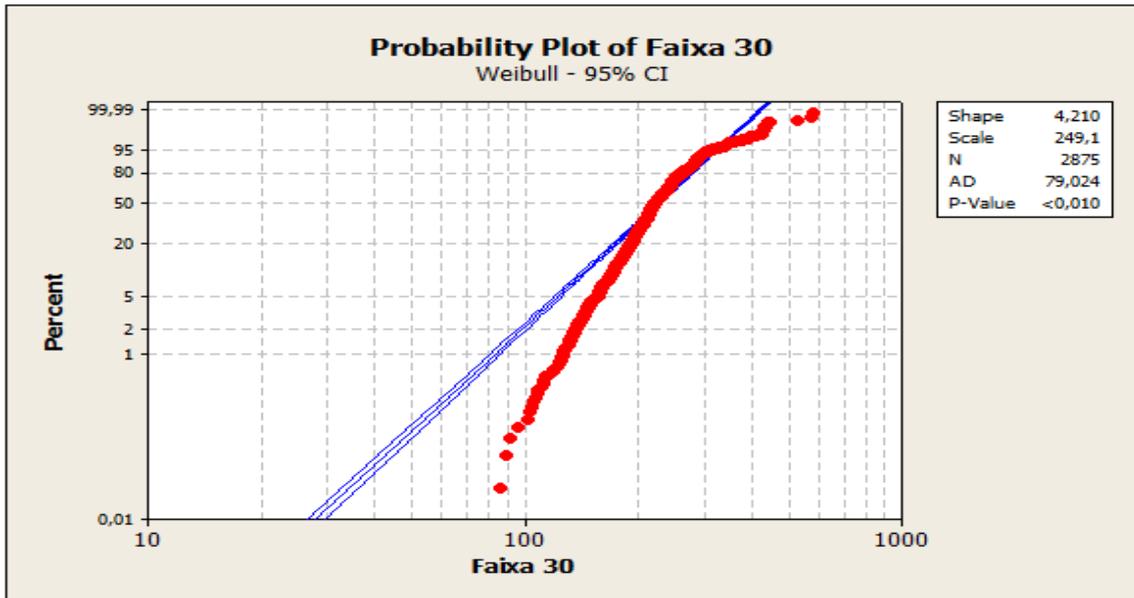


Gráfico 4.37 – Plotagem da probabilidade (faixa 30).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

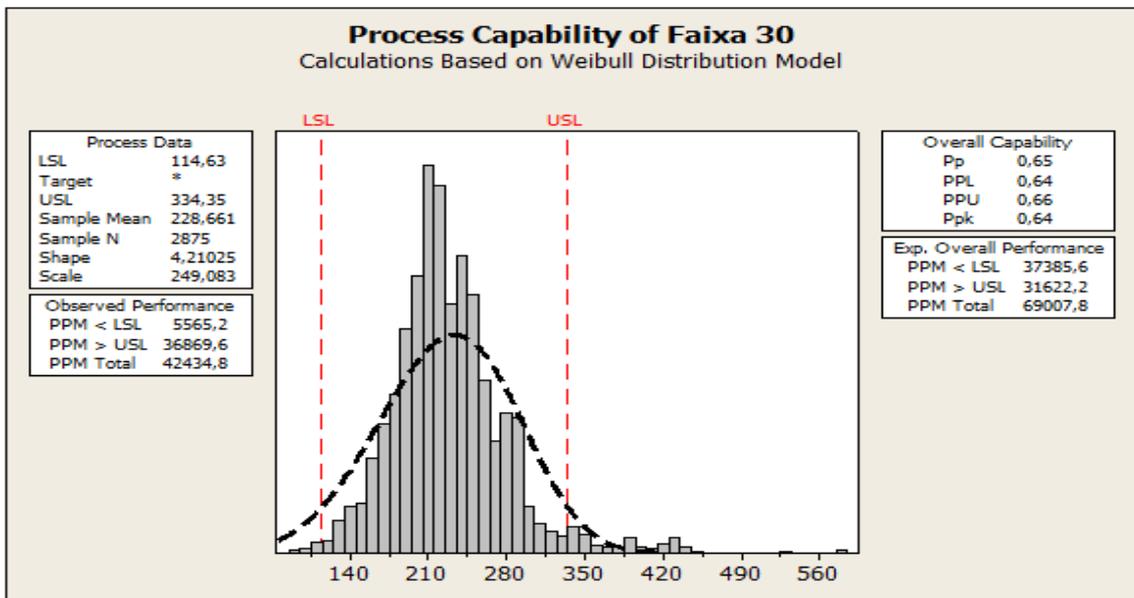


Gráfico 4.38 – Capabilidade do processo (faixa 30)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho aceitável ($Pp > 1,0$), e espera-se que 3,74% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall (PPM < LSL).

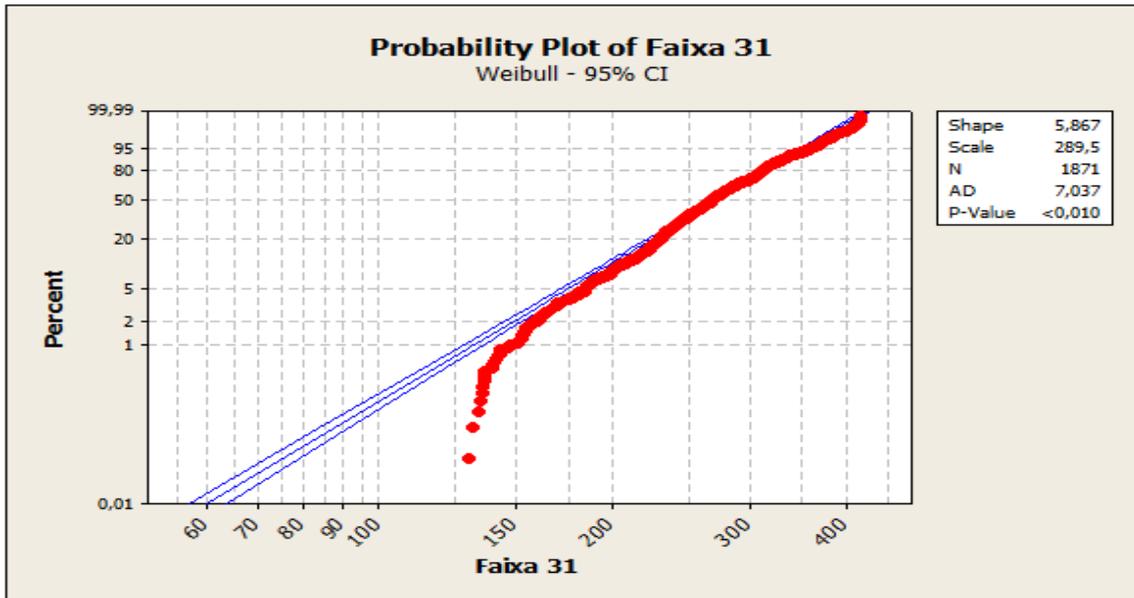


Gráfico 4.39 – Plotagem da probabilidade (faixa 31).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

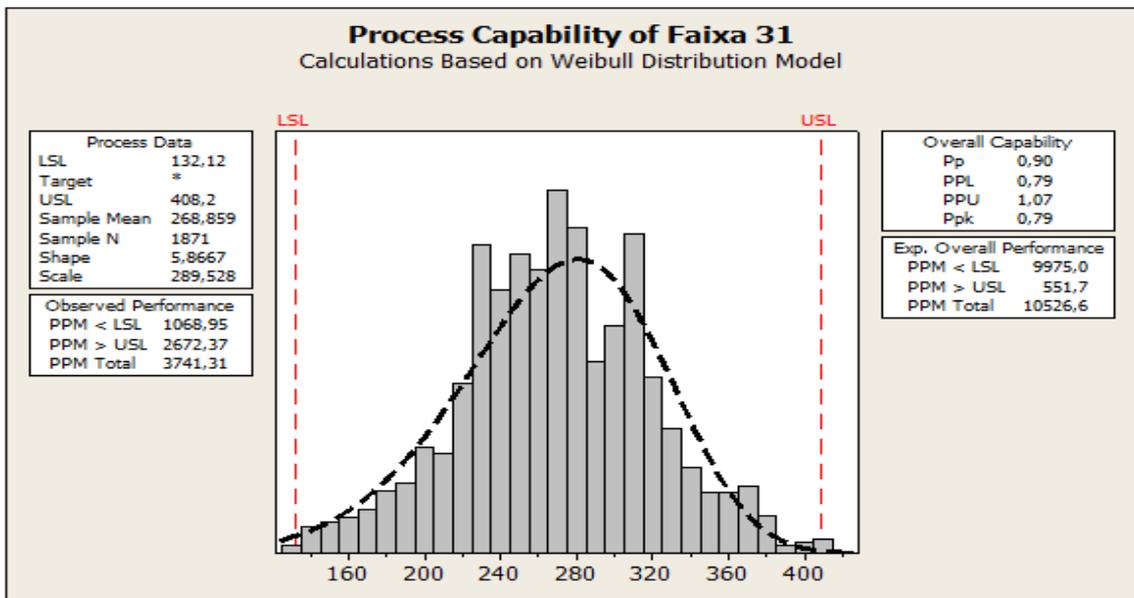


Gráfico 4.40 – Capabilidade do processo (faixa 31)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 0,99% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

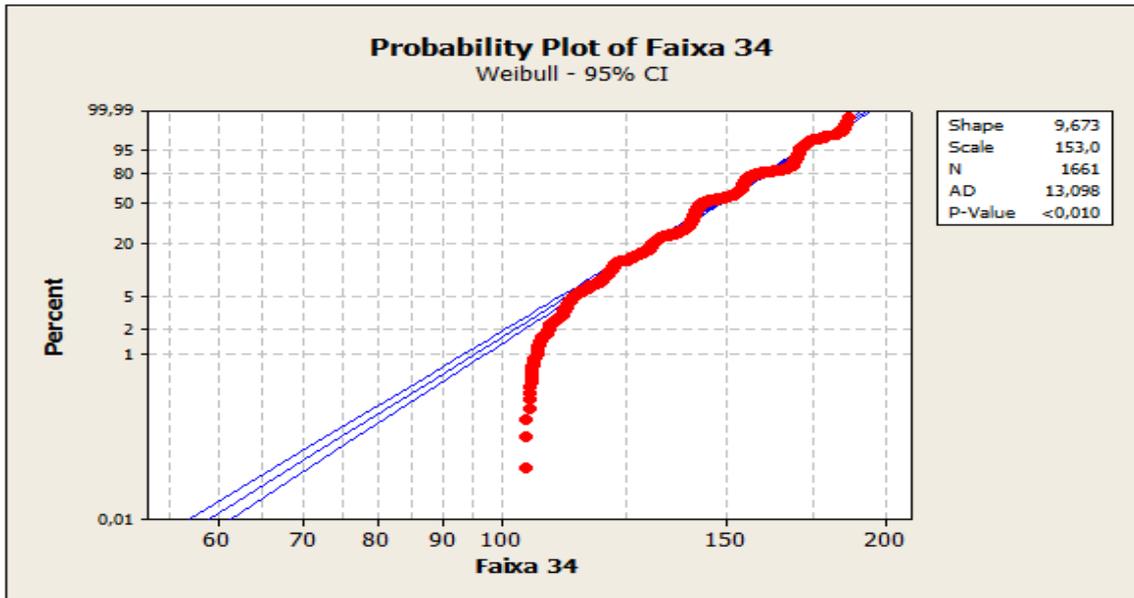


Gráfico 4.41 – Plotagem da probabilidade (faixa 34).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

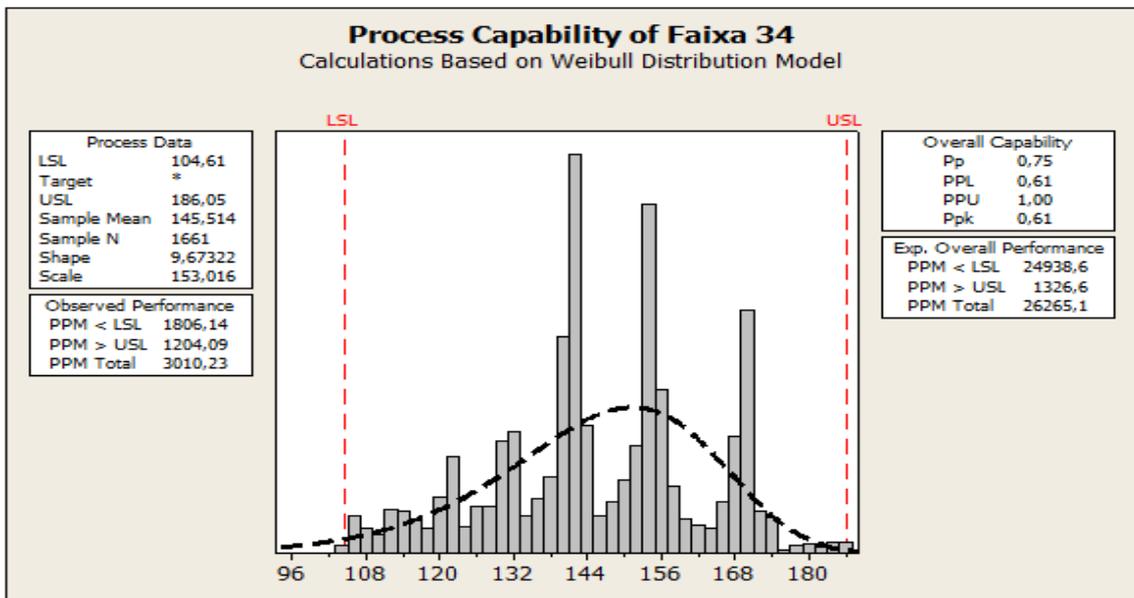


Gráfico 4.42 – Capabilidade do processo (faixa 34)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 2,5% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

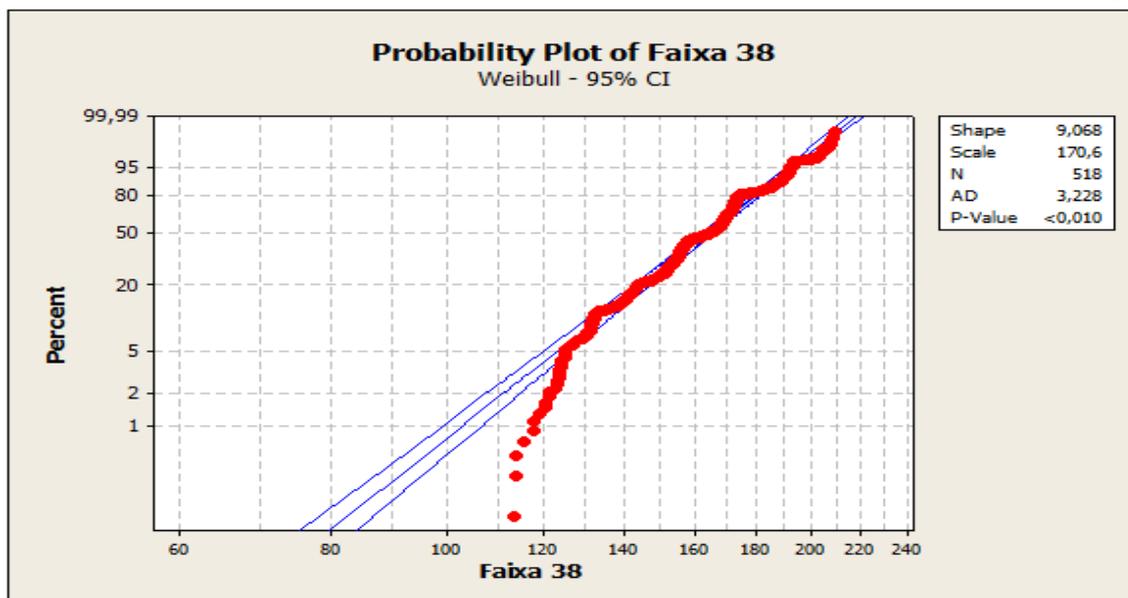


Gráfico 4.43 – Plotagem da probabilidade (faixa 38).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

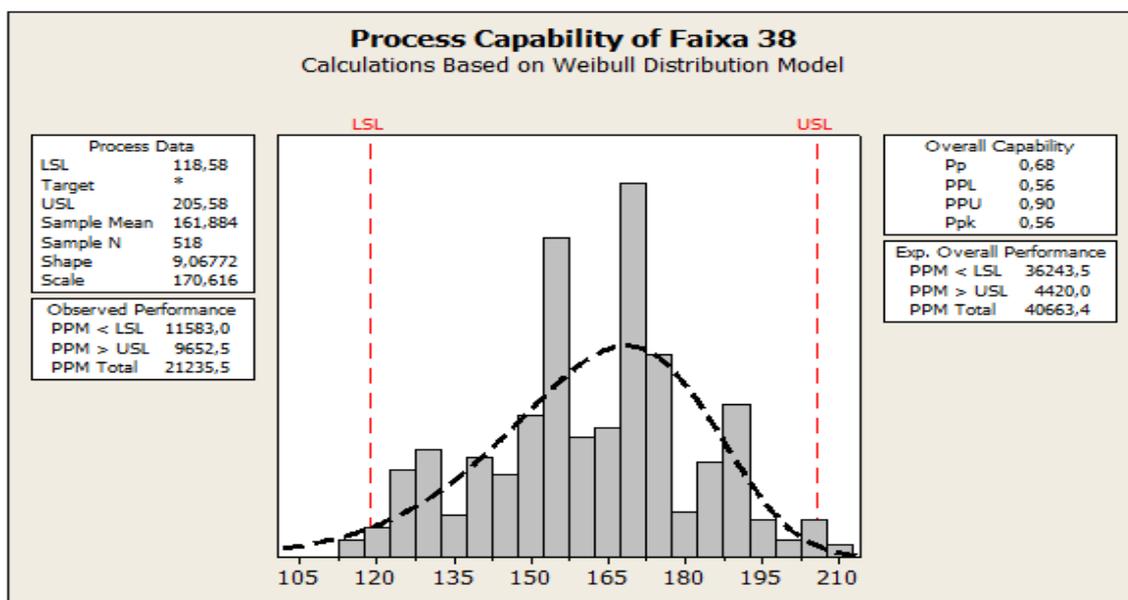


Gráfico 4.44 – Capabilidade do processo (faixa 38)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 3,62% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

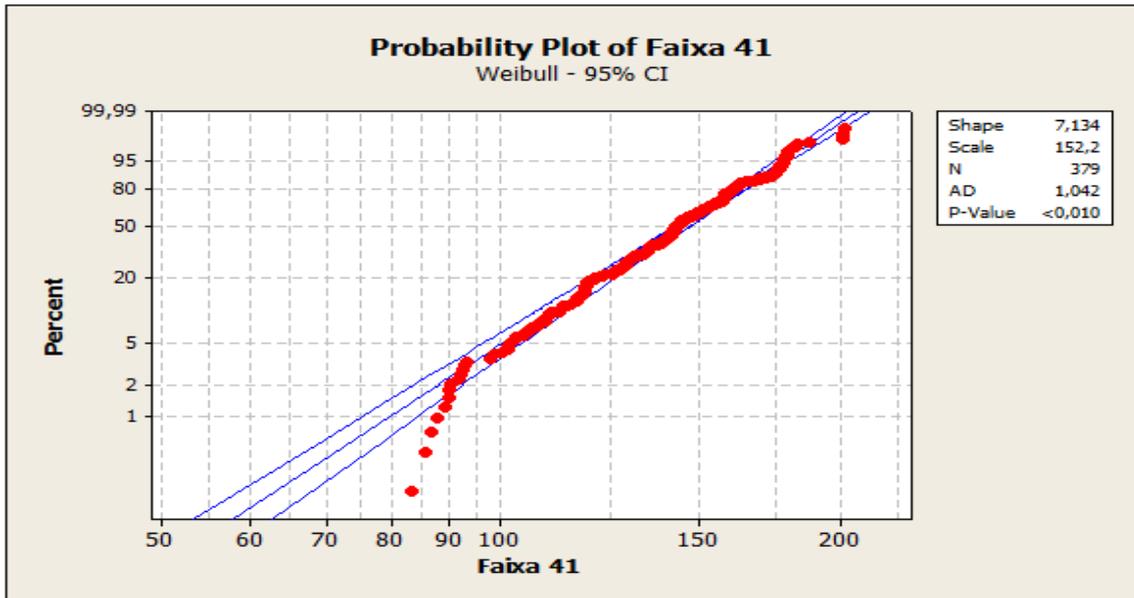


Gráfico 4.45 – Plotagem da probabilidade (faixa 41).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

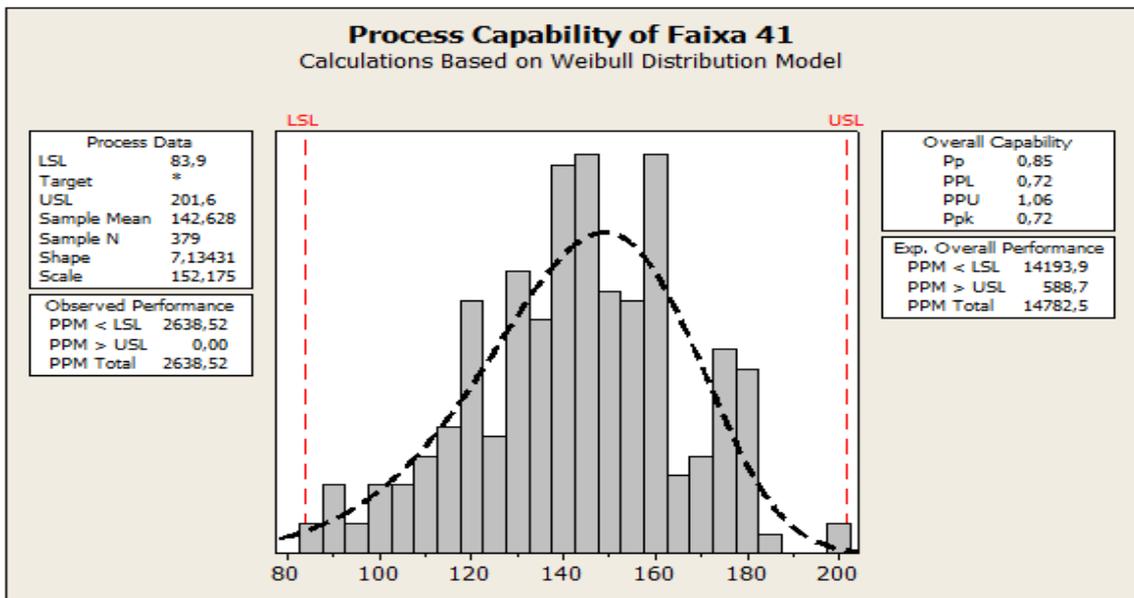


Gráfico 4.46 – Capabilidade do processo (faixa 41)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 1,42% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

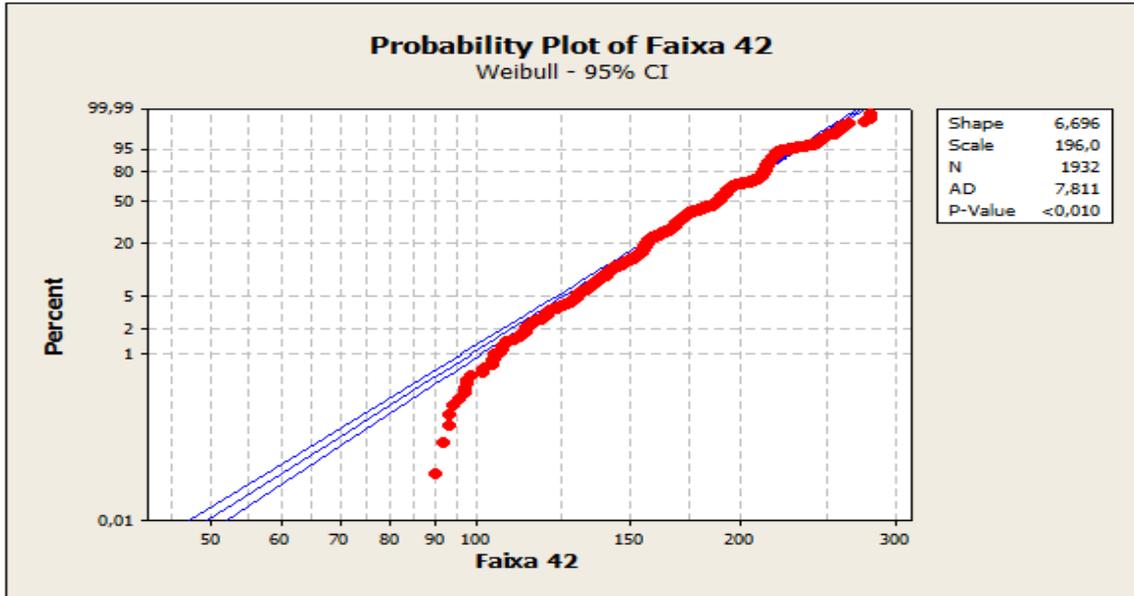


Gráfico 4.47 – Plotagem da probabilidade (faixa 42).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

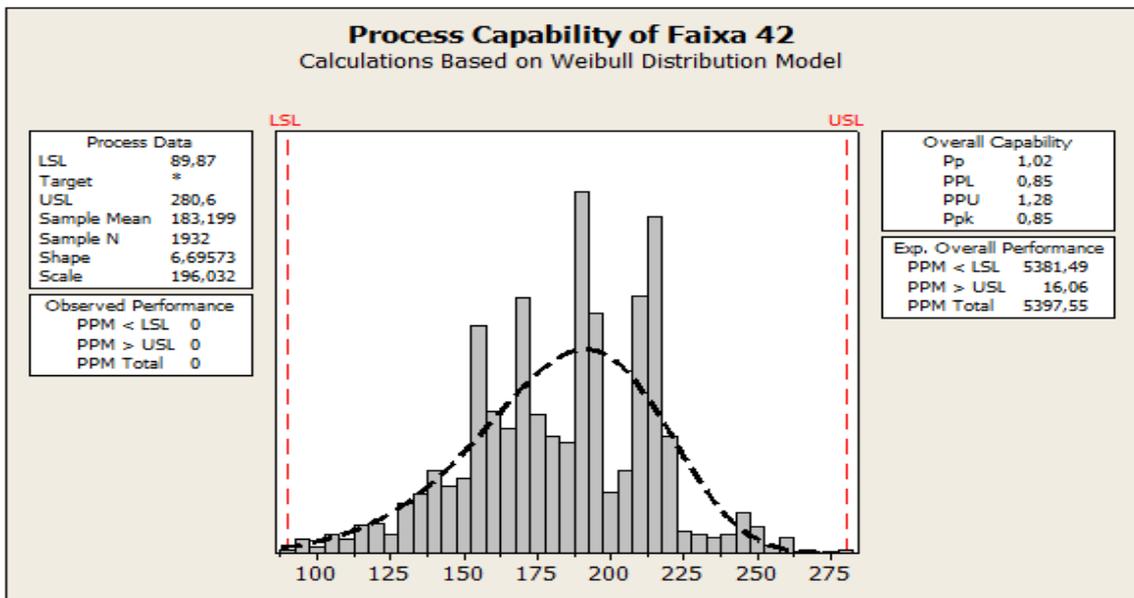


Gráfico 4.48 – Capabilidade do processo (faixa 42)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo tem desempenho capaz ($P_p > 1,0$), e espera-se que 0,5% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no performance overall (PPM < LSL).

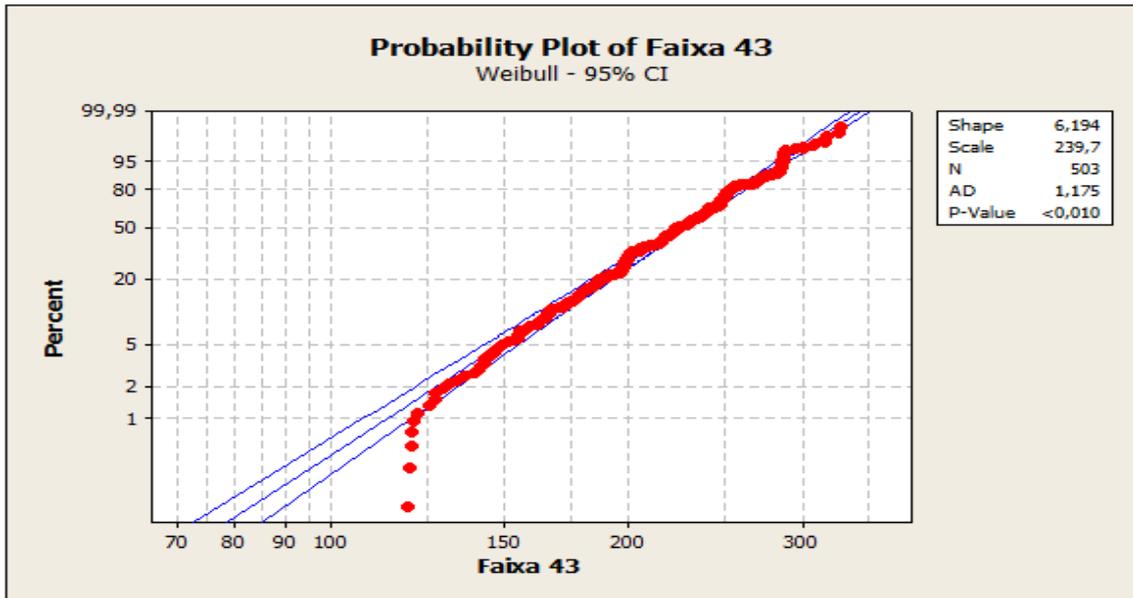


Gráfico 4.49 – Plotagem da probabilidade (faixa 43).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

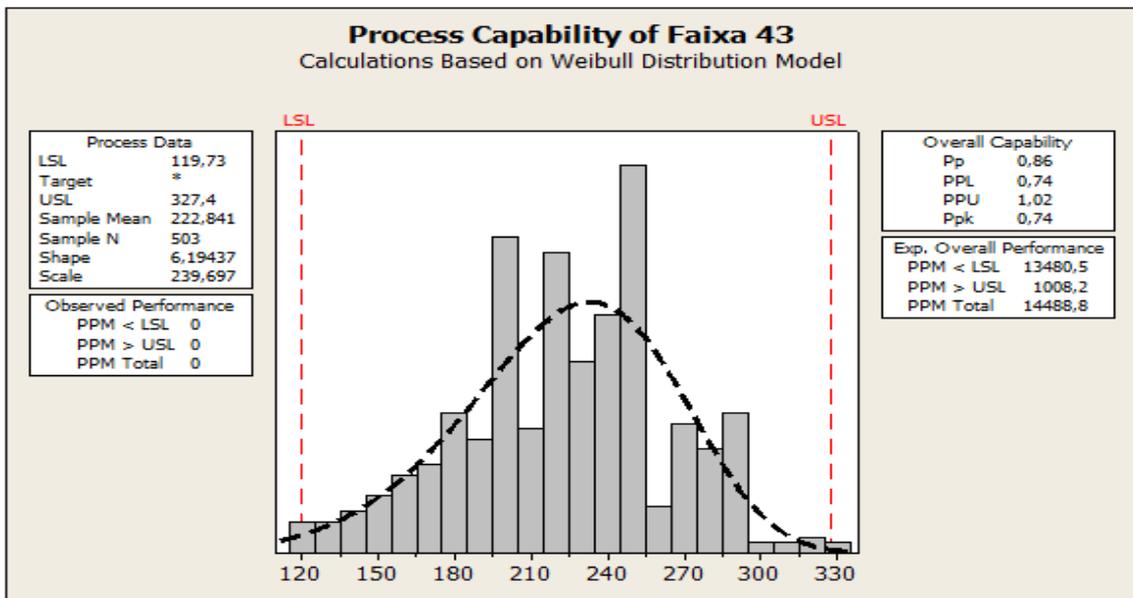


Gráfico 4.50 – Capabilidade do processo (faixa 43)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 1,35% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

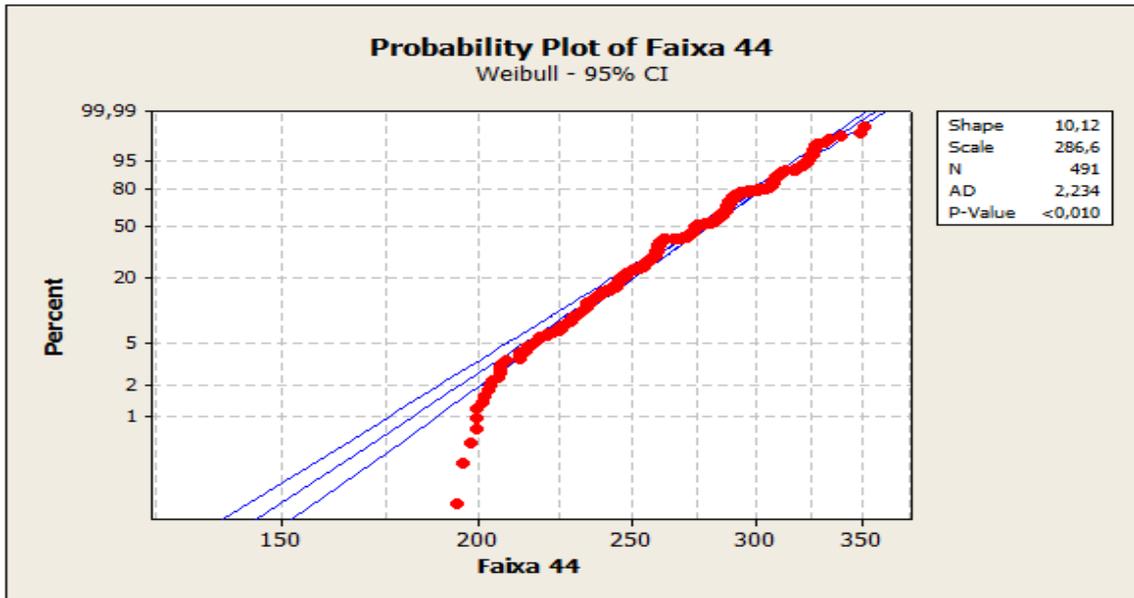


Gráfico 4.51 – Plotagem da probabilidade (faixa 44).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

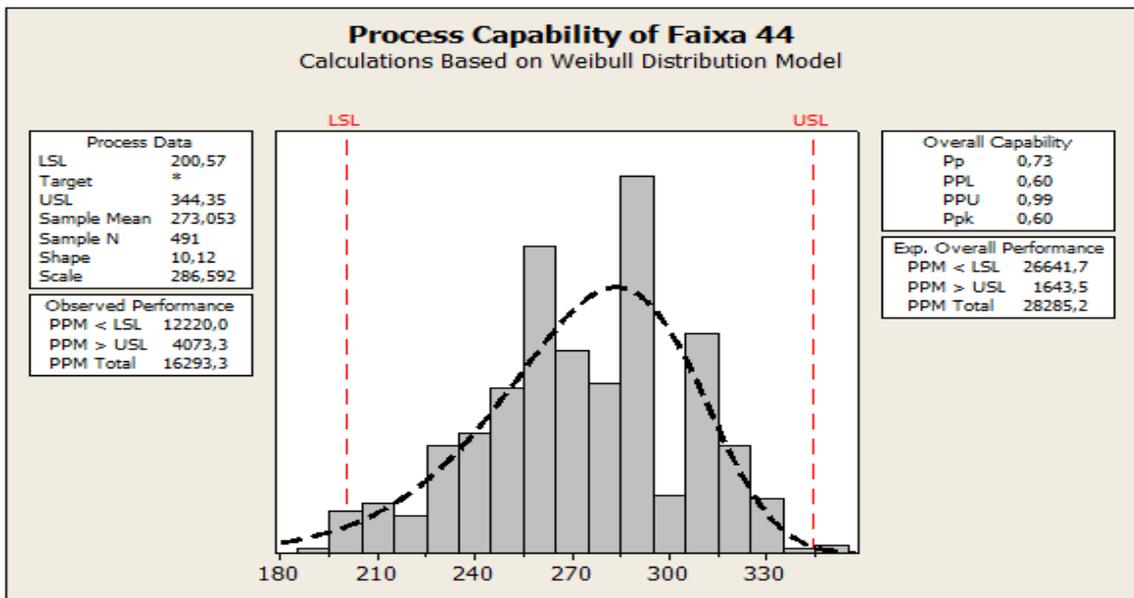


Gráfico 4.52 – Capabilidade do processo (faixa 44)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 2,66% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

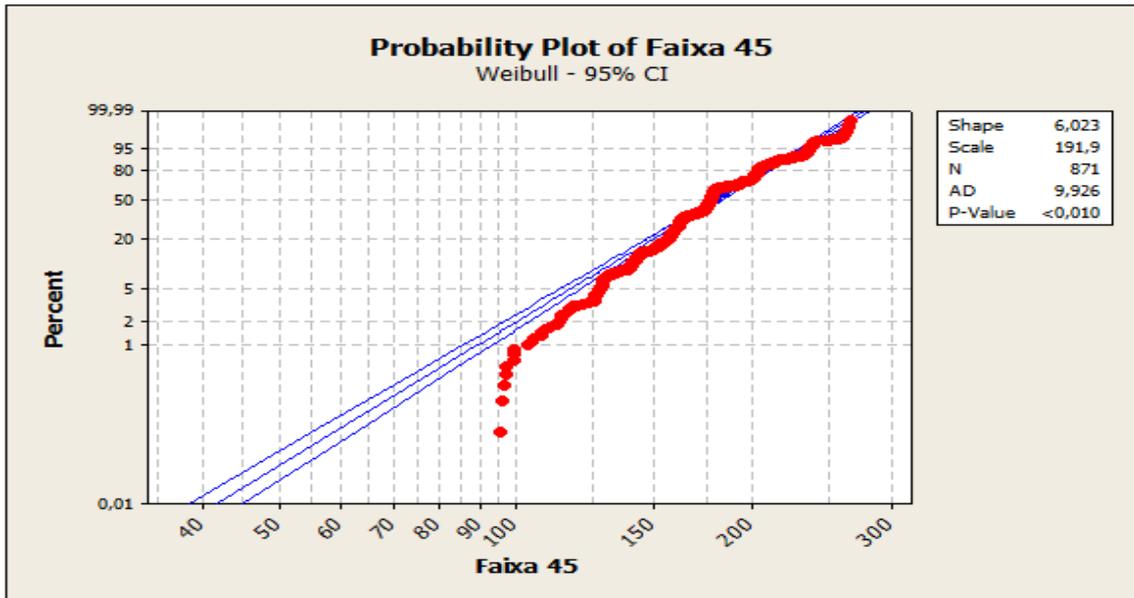


Gráfico 4.53 – Plotagem da probabilidade (faixa 45).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

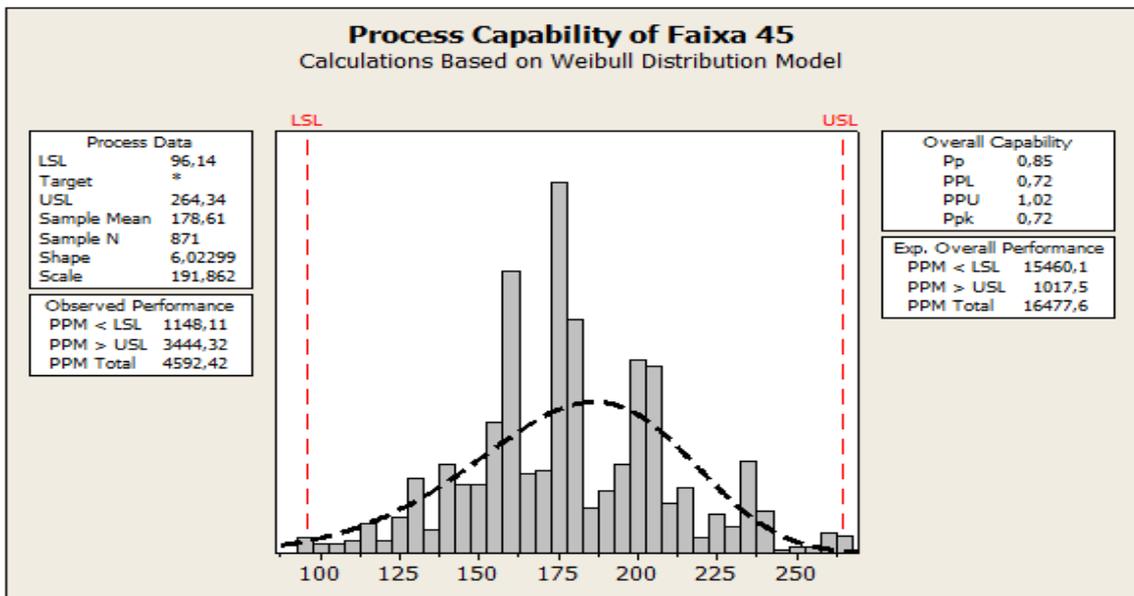


Gráfico 4.54 – Capabilidade do processo (faixa 45)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 1,55% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

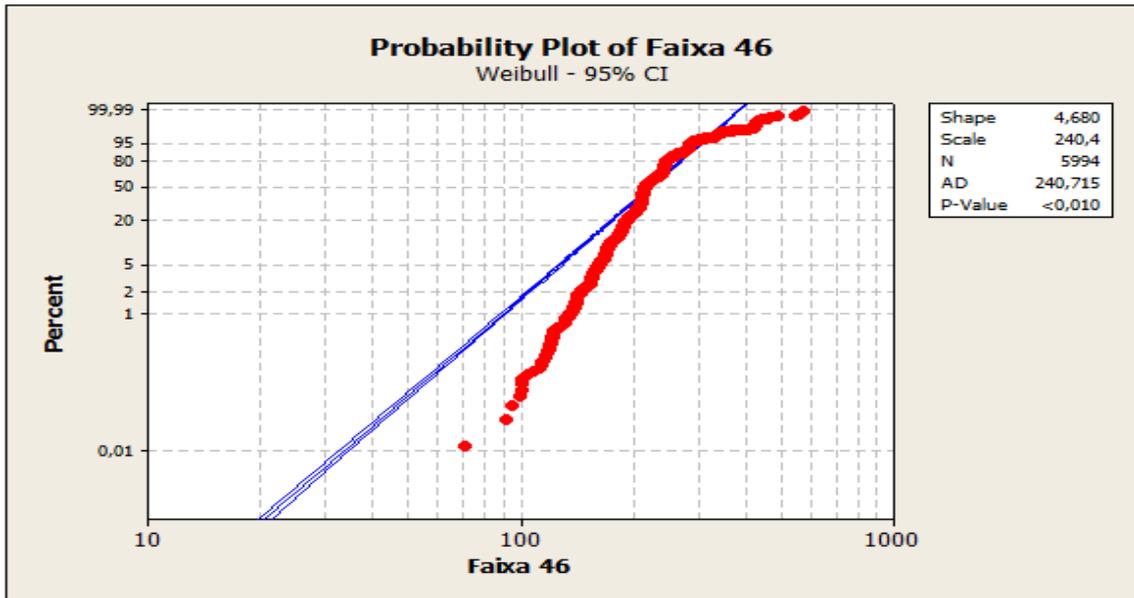


Gráfico 4.55 – Plotagem da probabilidade (faixa 46).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

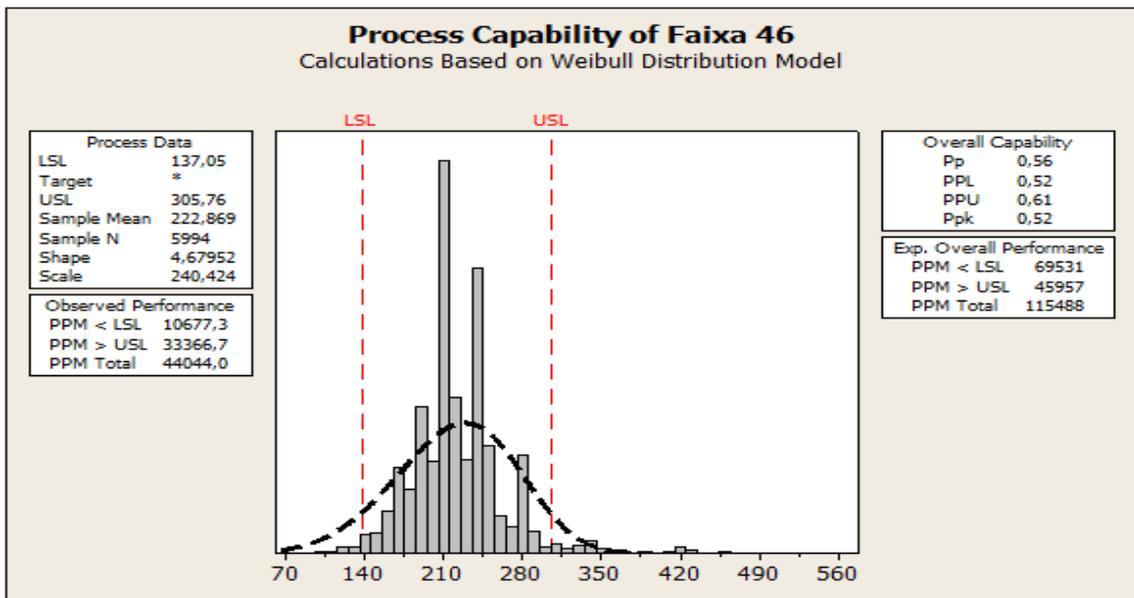


Gráfico 4.56 – Capabilidade do processo (faixa 46)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 6,95% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

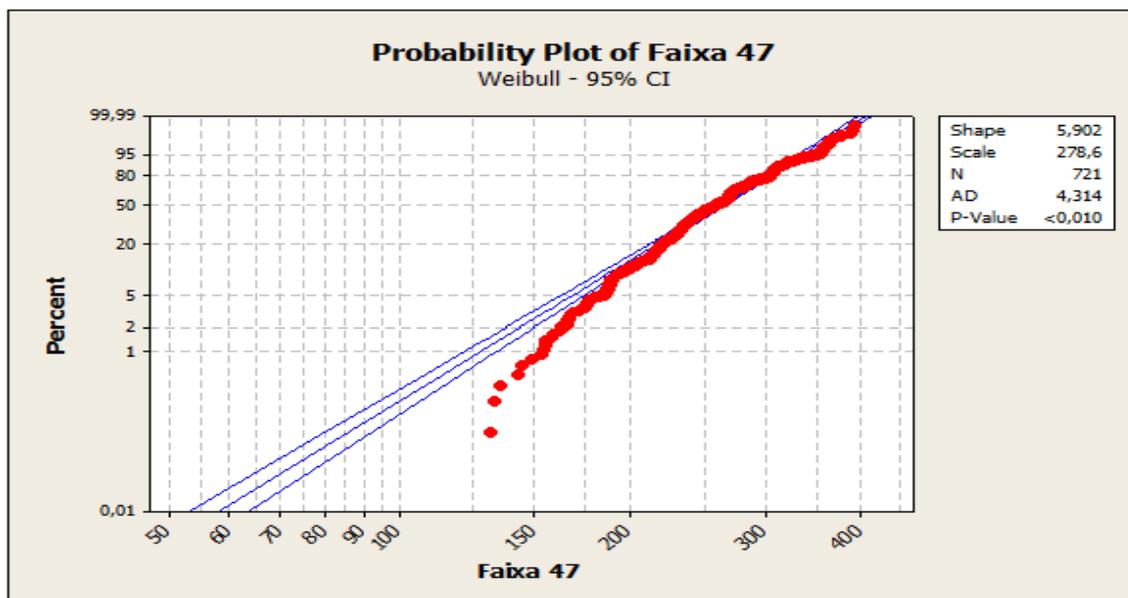


Gráfico 4.57 – Plotagem da probabilidade (faixa 47).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

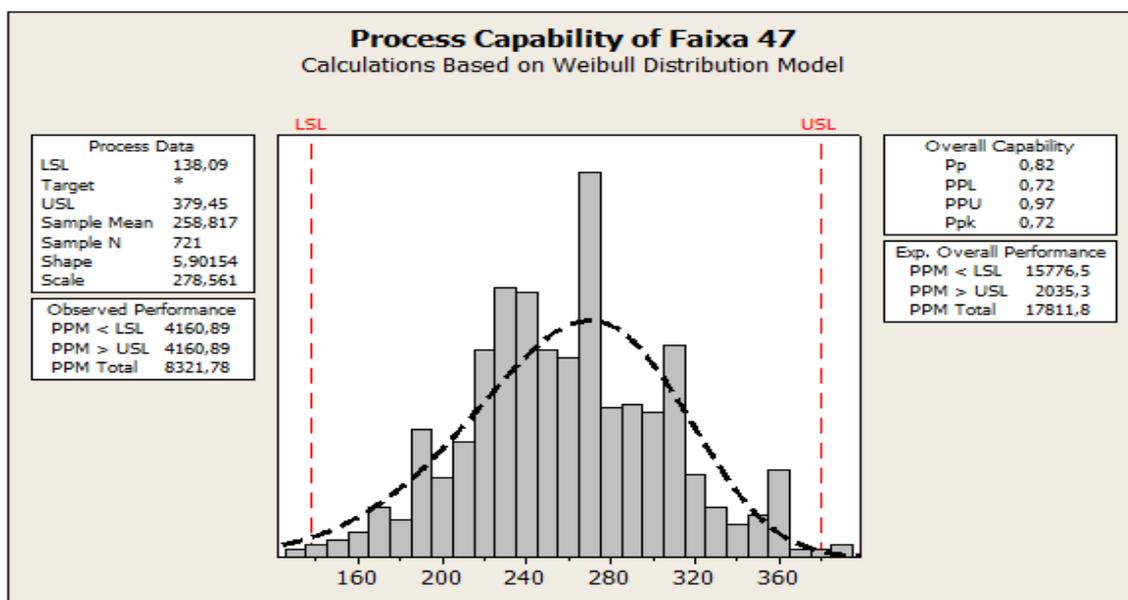


Gráfico 4.58 – Capabilidade do processo (faixa 47)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 1,58% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

4.2.2 Modelos Probabilísticos e Análise de Capacidade – CAPL (Continuous Annealing and Processing Line)

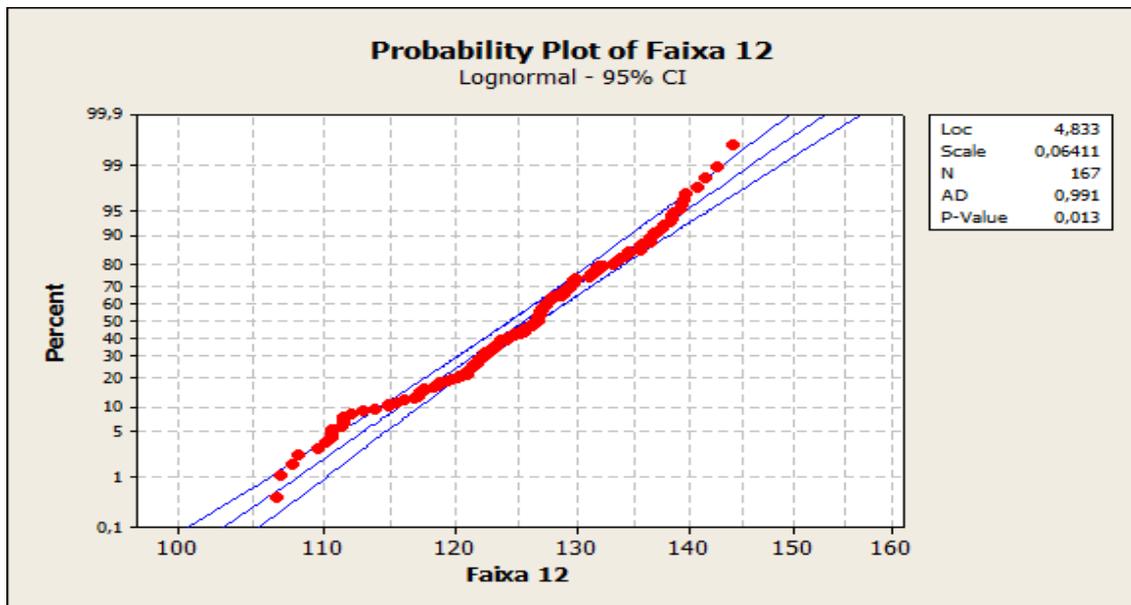


Gráfico 4.59 – Plotagem da probabilidade (faixa 12).

O valor de **p** indica que os dados desta faixa se aderem à distribuição proposta, ou seja, a distribuição Lognormal.

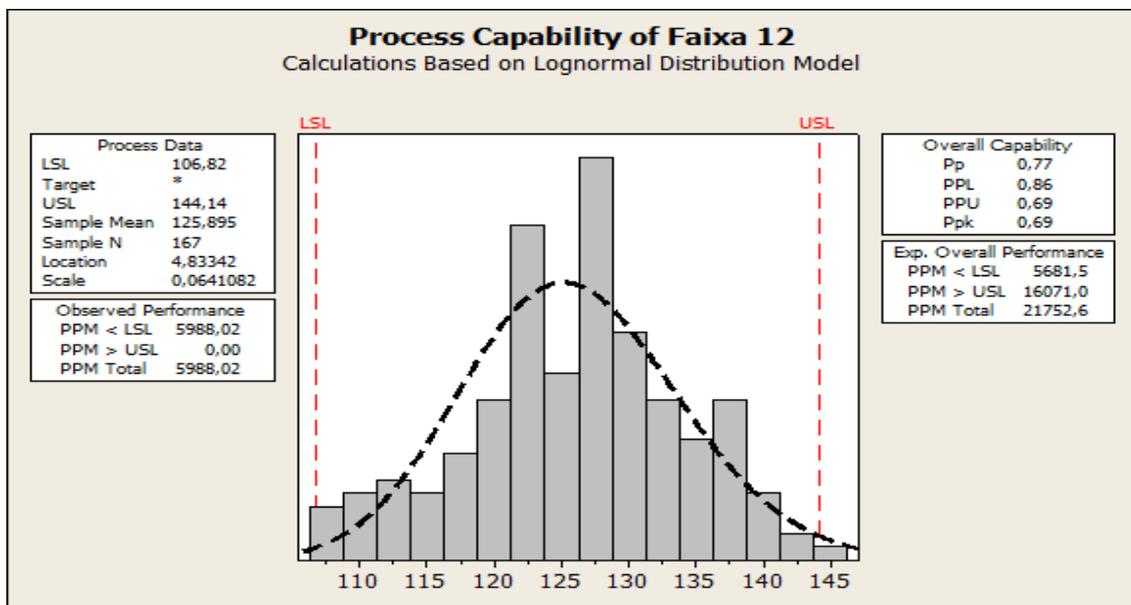


Gráfico 4.60 – Capacidade do processo (faixa 12)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 0,57% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

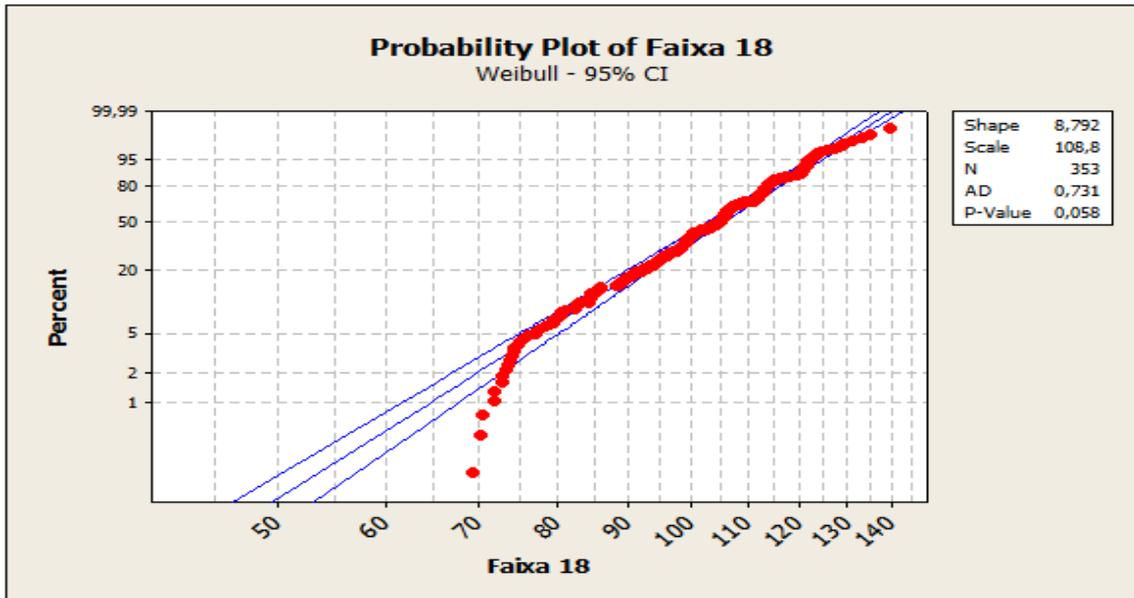


Gráfico 4.61 – Plotagem da probabilidade (faixa 18).

O valor de **p** indica que os dados desta faixa se aderem à distribuição proposta, ou seja, a distribuição Weibull.

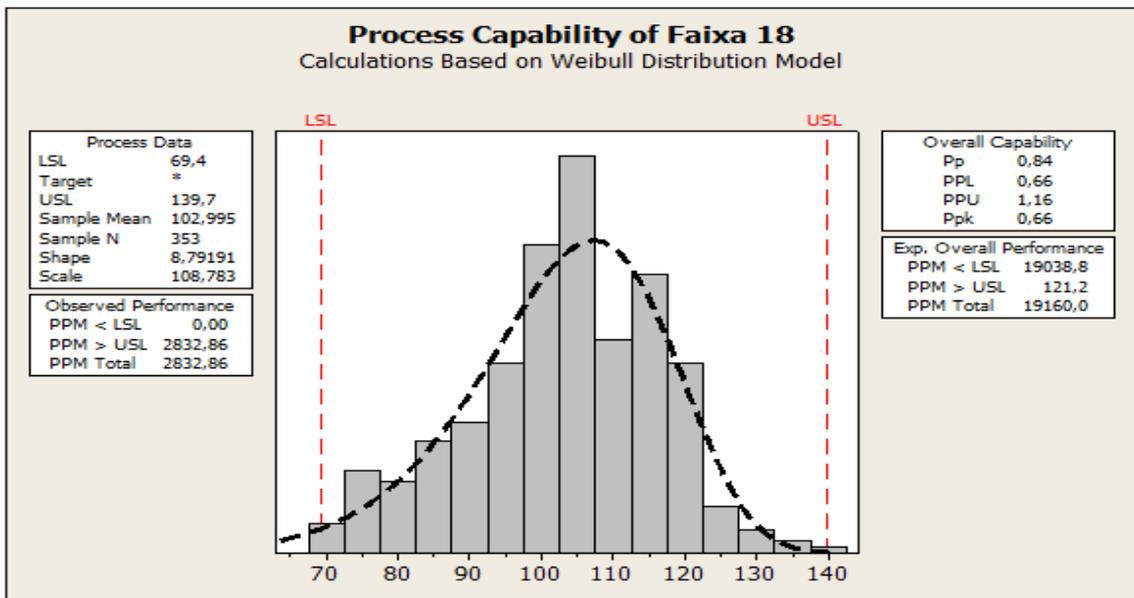


Gráfico 4.62 – Capabilidade do processo (faixa 18)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 1,90% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

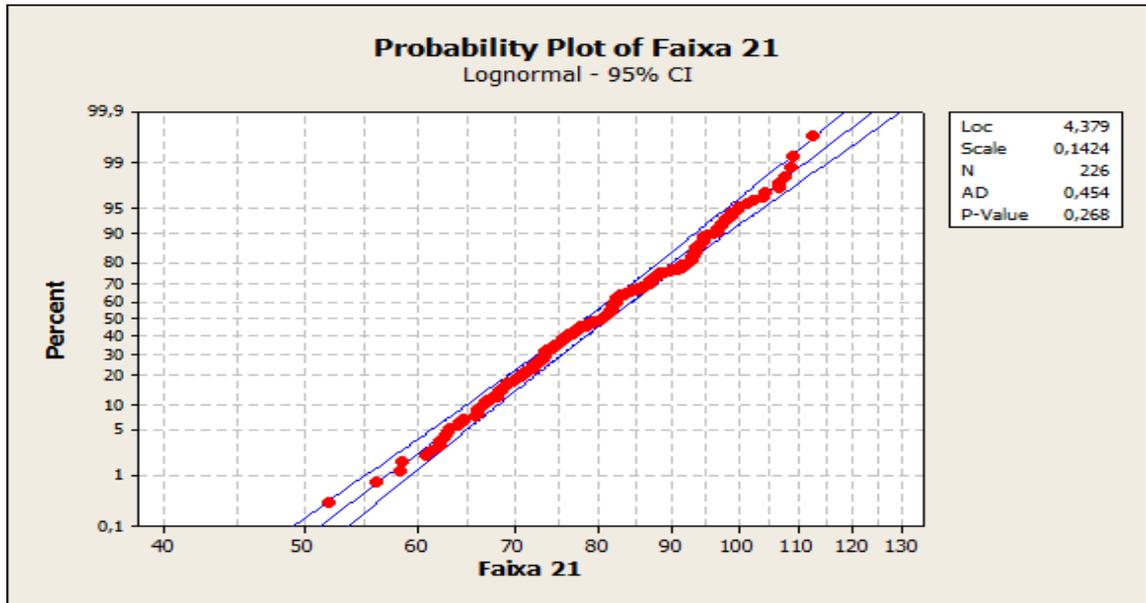


Gráfico 4.63 – Plotagem da probabilidade (faixa 21).

O valor de **p** indica que os dados desta faixa se aderem à distribuição proposta, ou seja, a distribuição Lognormal.

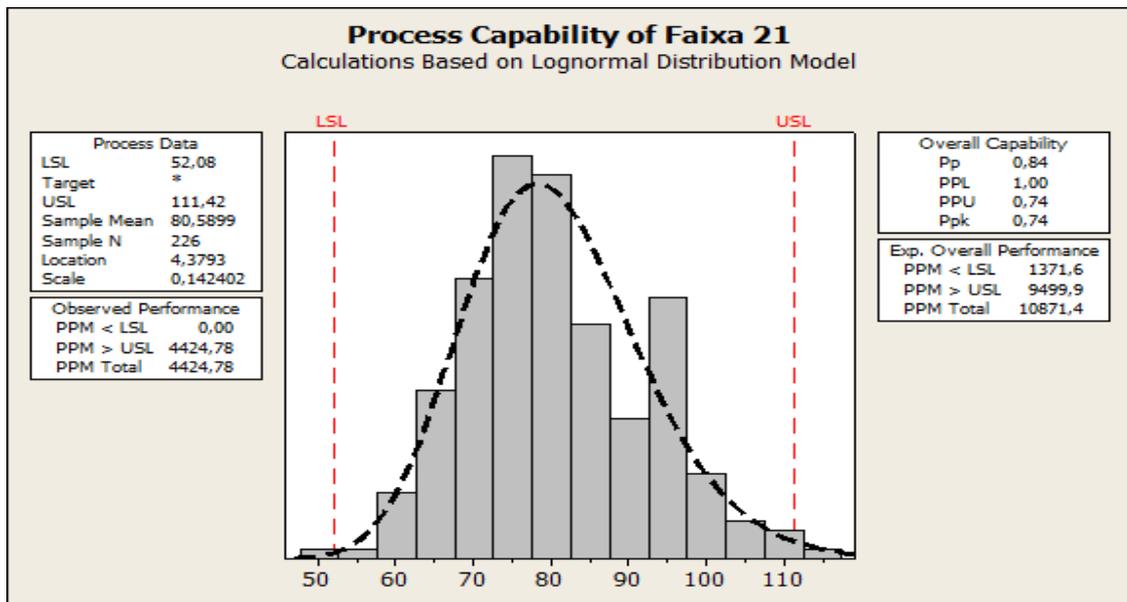


Gráfico 4.64 – Capabilidade do processo (faixa 21)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 0,14% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

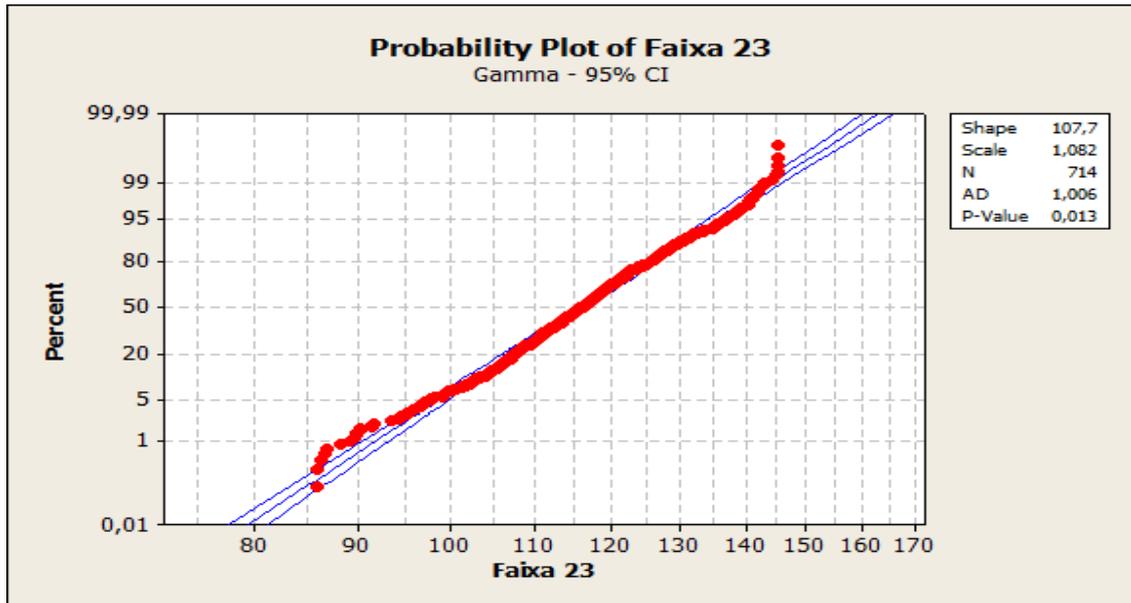


Gráfico 4.65 – Plotagem da probabilidade (faixa 23).

O valor de **p** indica que os dados desta faixa se aderem à distribuição proposta, ou seja, a distribuição Gamma.

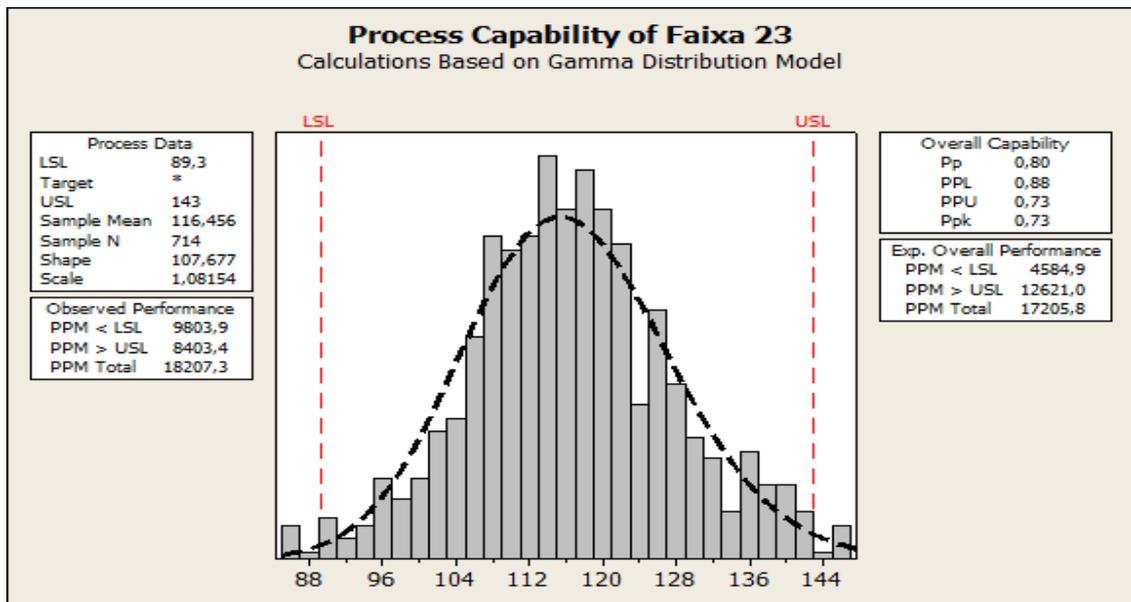


Gráfico 4.66 – Capabilidade do processo (faixa 23)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 0,46% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

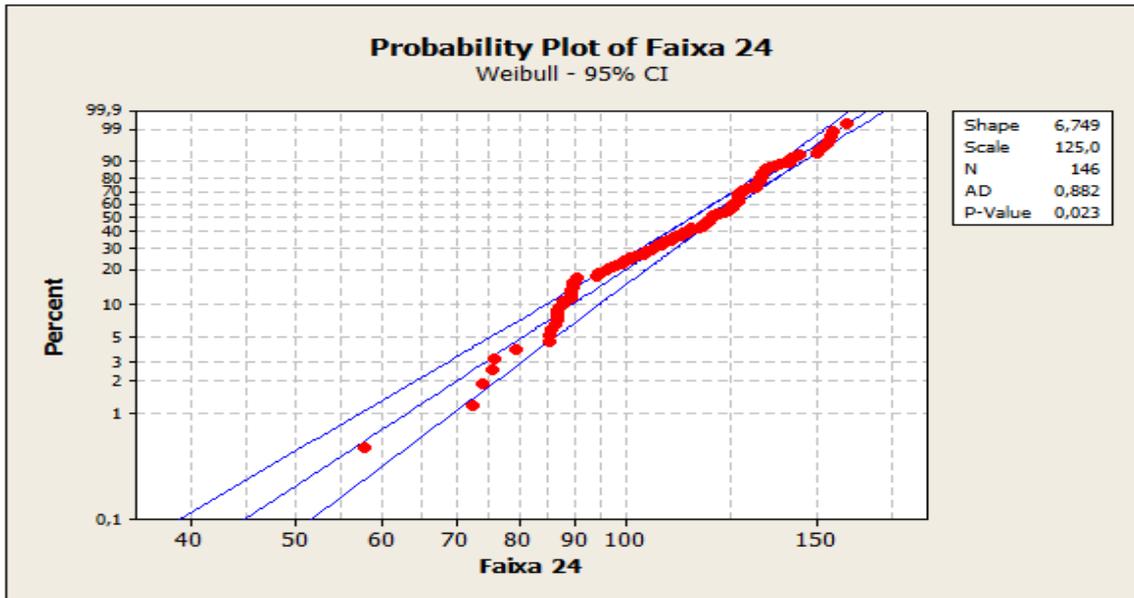


Gráfico 4.67 – Plotagem da probabilidade (faixa 24).

O valor de **p** indica que os dados desta faixa se aderem à distribuição proposta, ou seja, a distribuição Weibull.

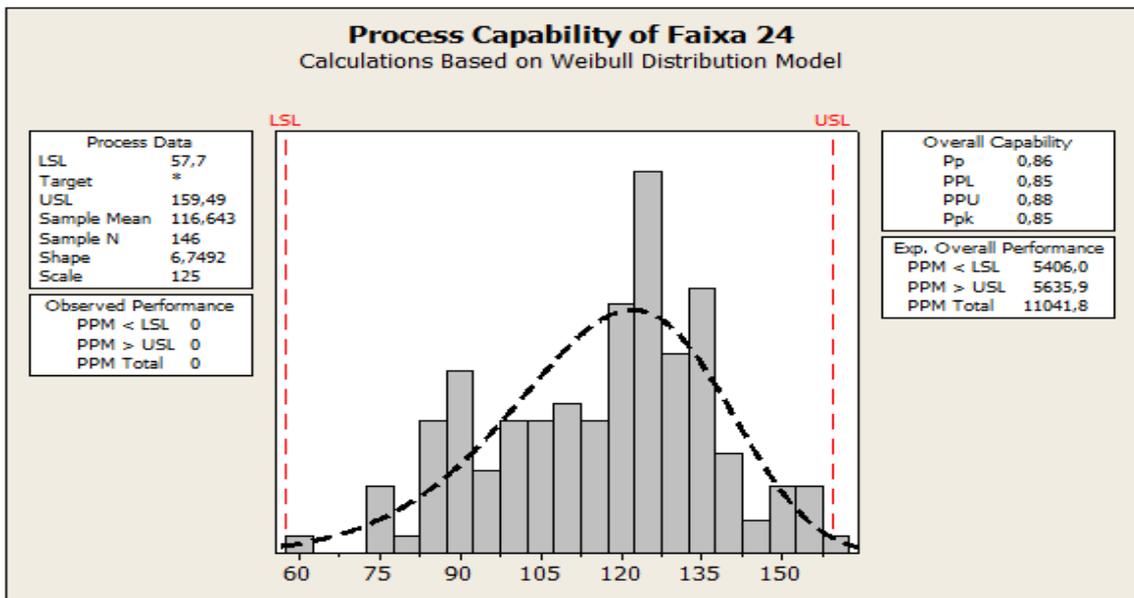


Gráfico 4.68 – Capabilidade do processo (faixa 24)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 0,54% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

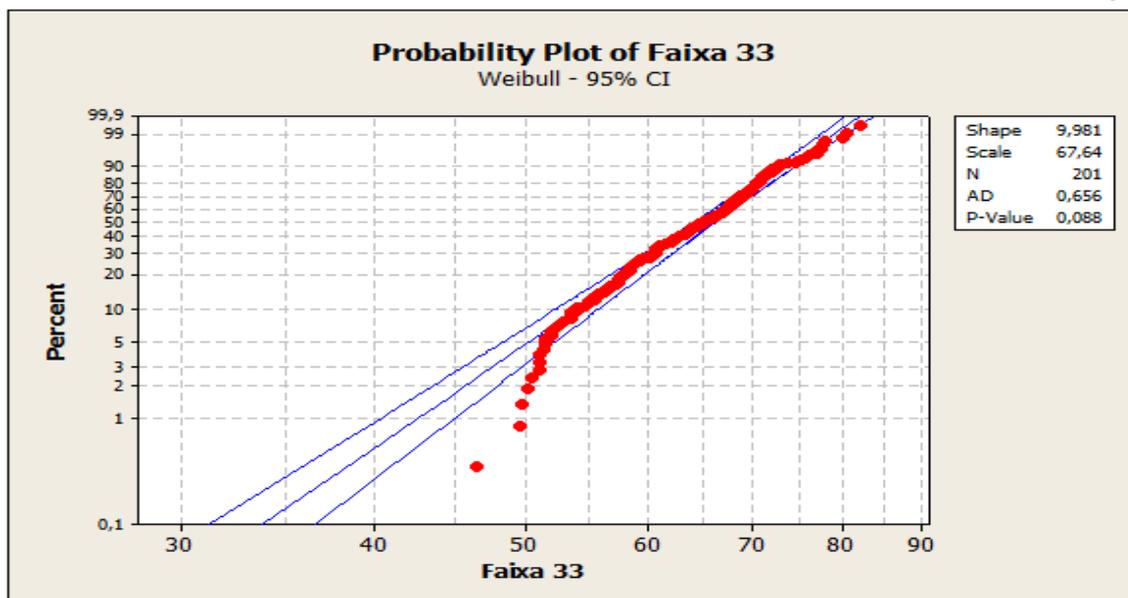


Gráfico 4.69 – Plotagem da probabilidade (faixa 23).

O valor de **p** indica que os dados desta faixa se aderem à distribuição proposta, ou seja, a distribuição Weibull.

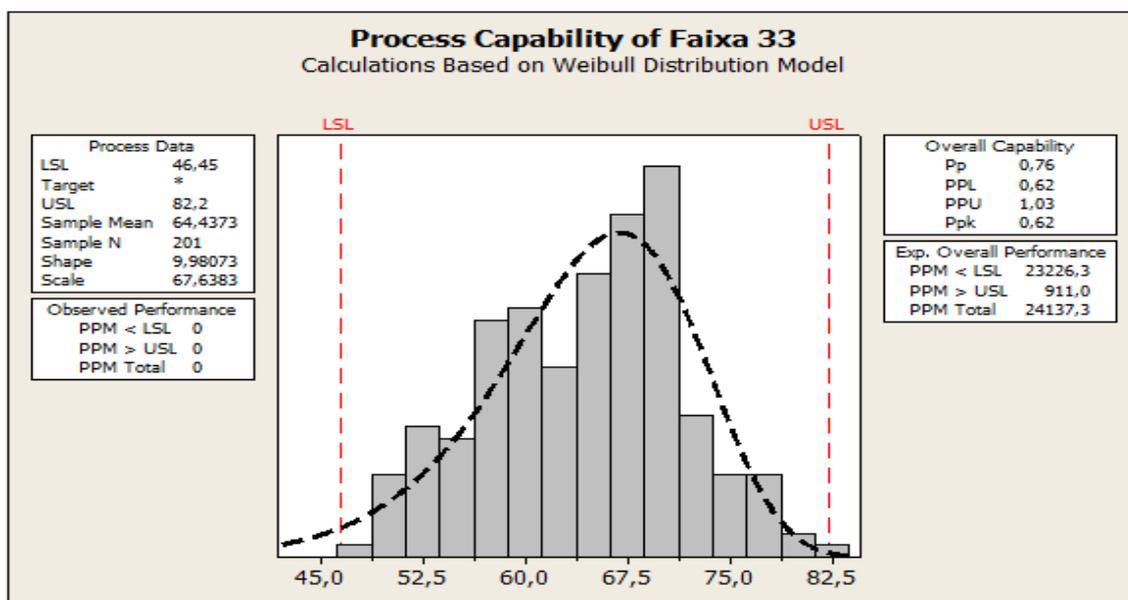


Gráfico 4.70 – Capabilidade do processo (faixa 33)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 2,32% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

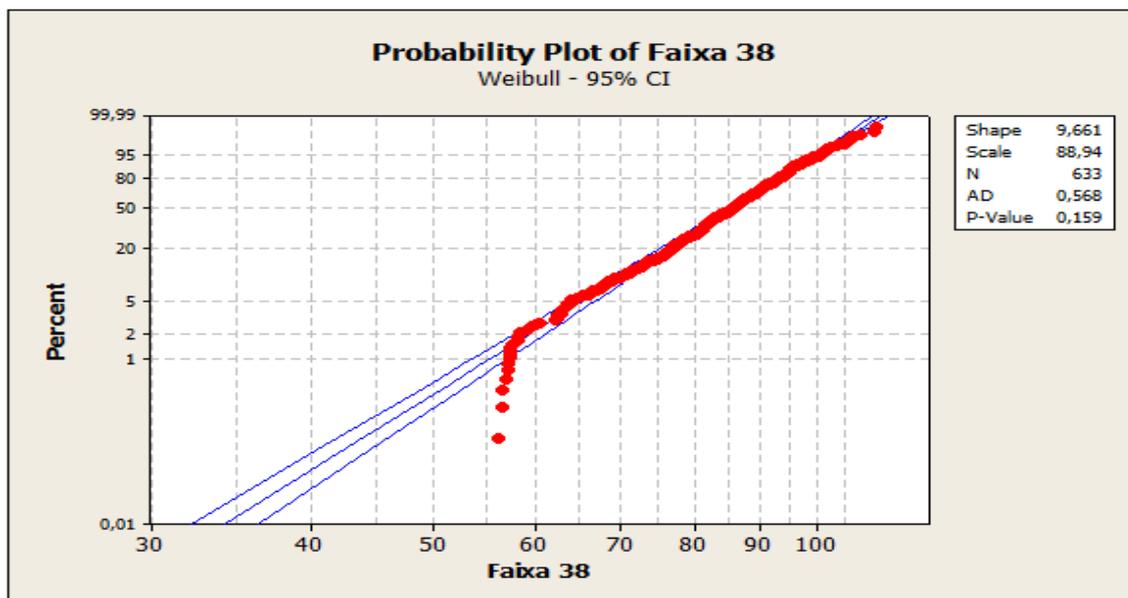


Gráfico 4.71 – Plotagem da probabilidade (faixa 38).

O valor de **p** indica que os dados desta faixa se aderem à distribuição proposta, ou seja, a distribuição Weibull.

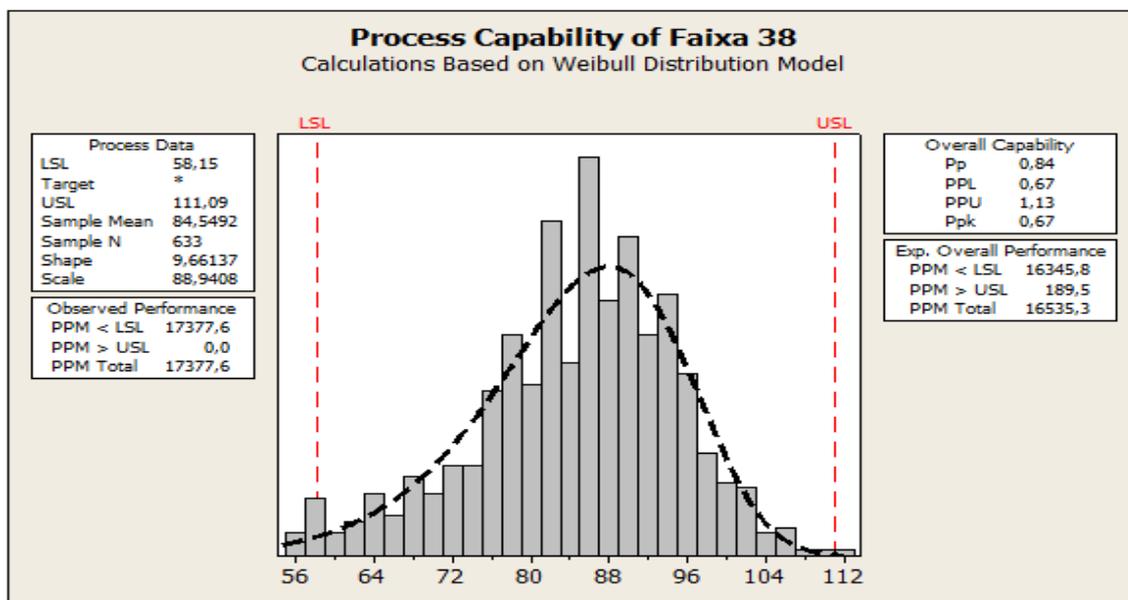


Gráfico 4.72 – Capabilidade do processo (faixa 38)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($Pp < 1,0$), e espera-se que 1,63% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

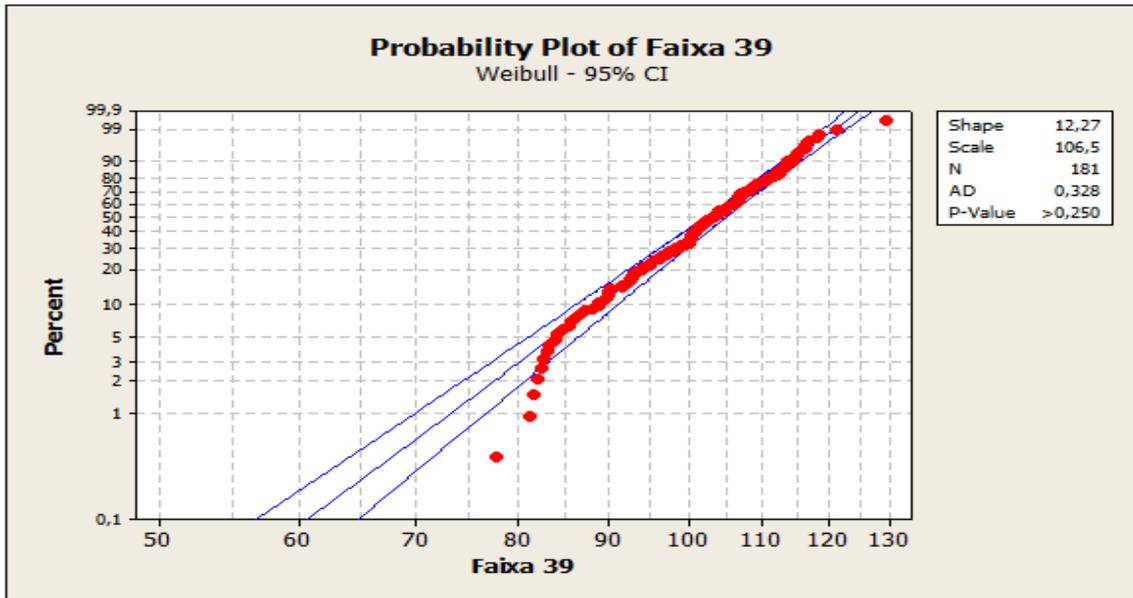


Gráfico 4.73 – Plotagem da probabilidade (faixa 39).

O valor de **p** indica que os dados desta faixa se aderem à distribuição proposta, ou seja, a distribuição Weibull.

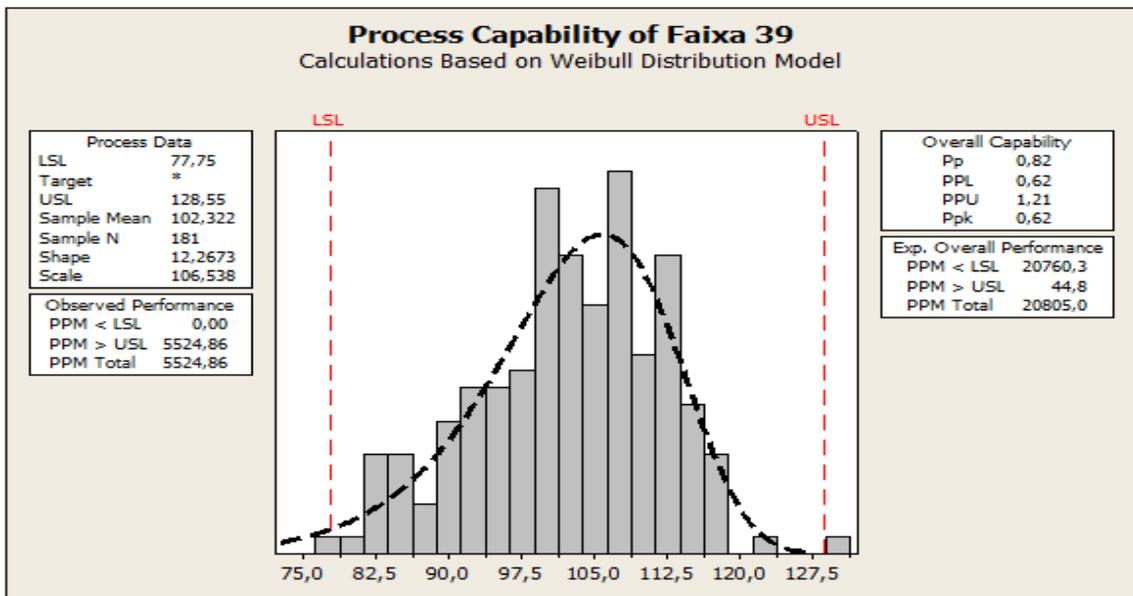


Gráfico 4.74 – Capabilidade do processo (faixa 39)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 2,01% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

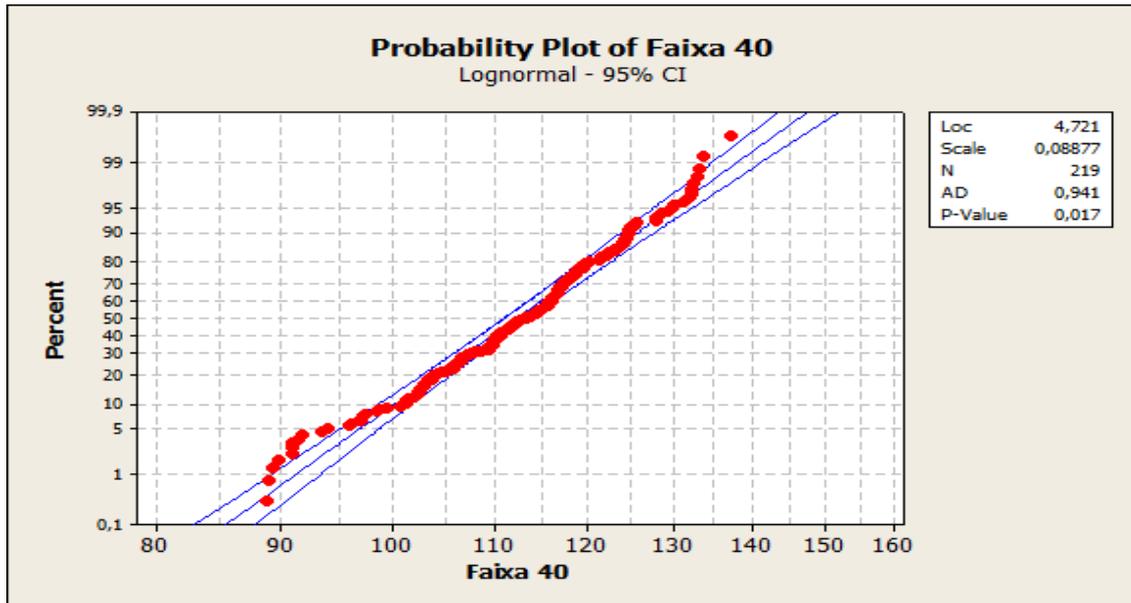


Gráfico 4.75 – Plotagem da probabilidade (faixa 40).

O valor de **p** indica que os dados desta faixa se aderem à distribuição proposta, ou seja, a distribuição Lognormal.

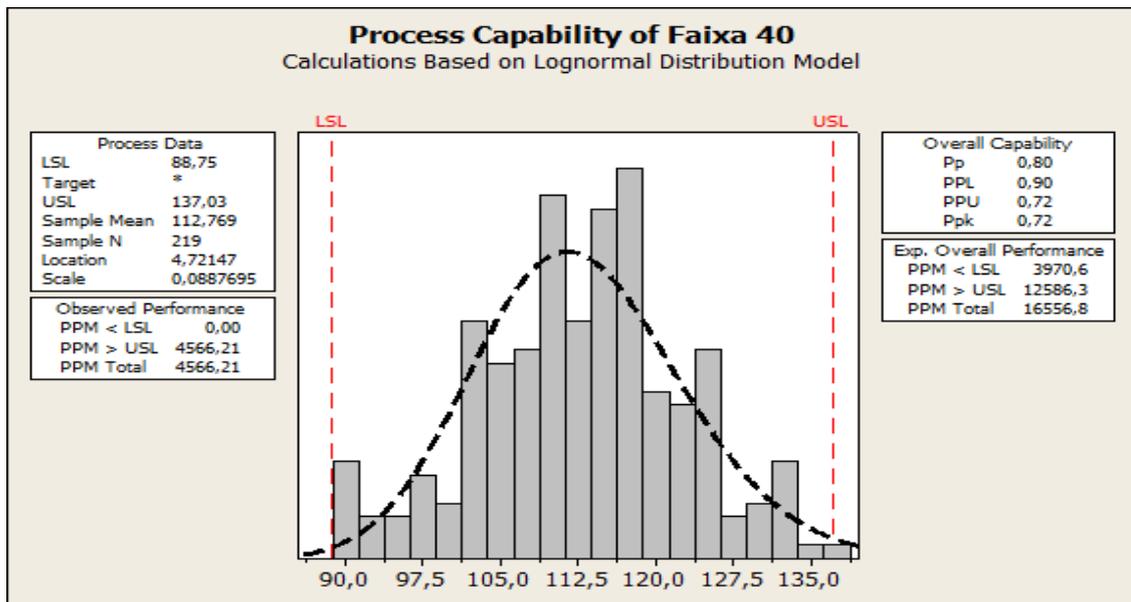


Gráfico 4.76 – Capabilidade do processo (faixa 40)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 0,40% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

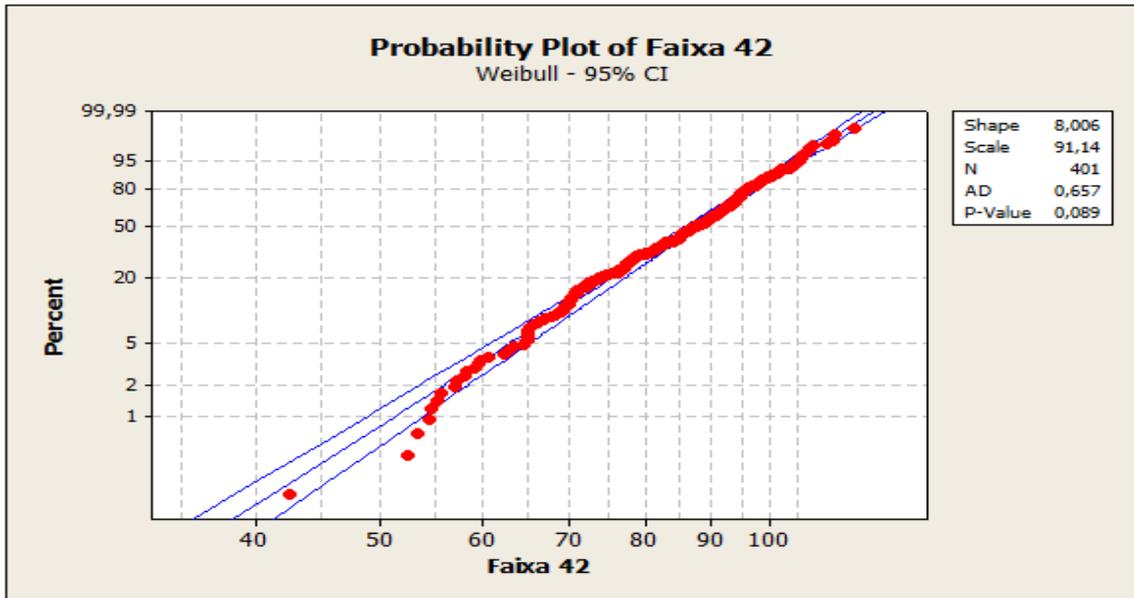


Gráfico 4.77 – Plotagem da probabilidade (faixa 42).

O valor de **p** indica que os dados desta faixa se aderem à distribuição proposta, ou seja, a distribuição Weibull.

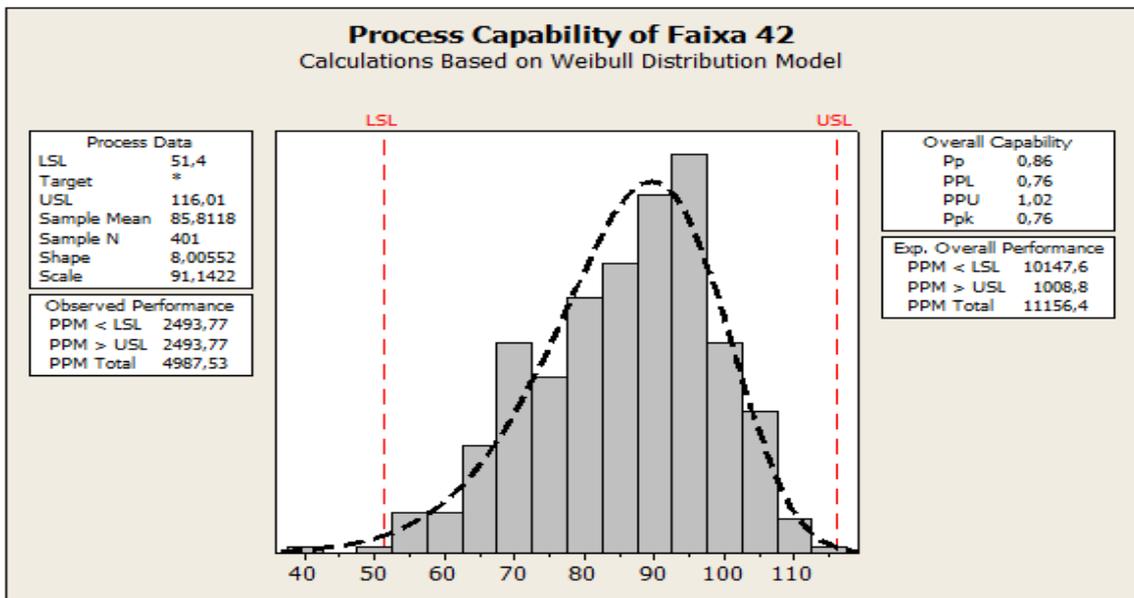


Gráfico 4.78 – Capabilidade do processo (faixa 42)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 1,01% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

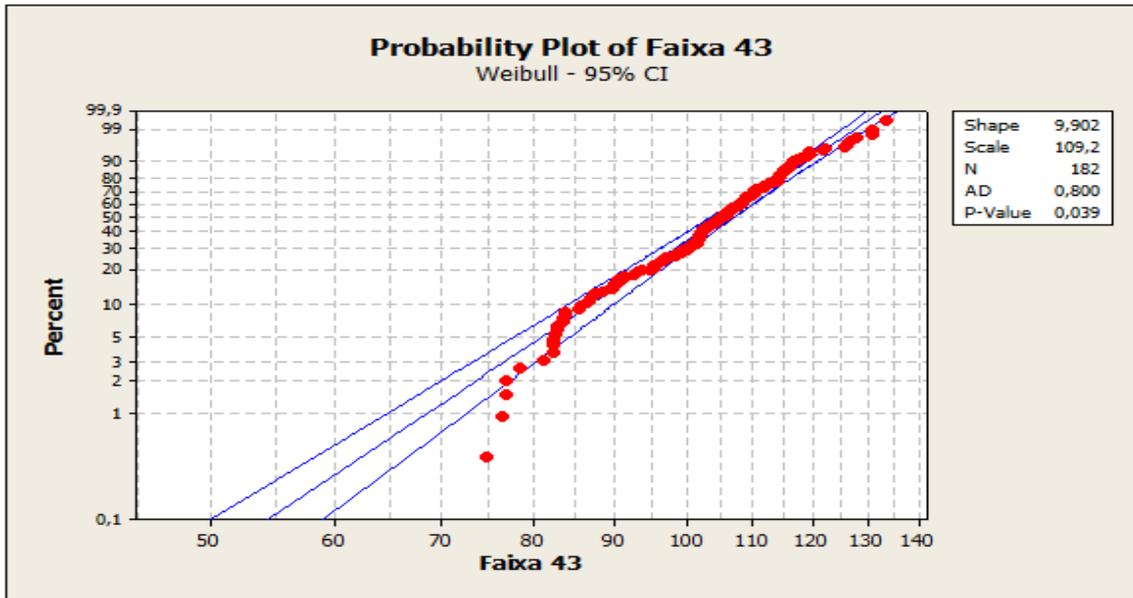


Gráfico 4.79 – Plotagem da probabilidade (faixa 43).

O valor de **p** indica que os dados desta faixa se aderem à distribuição proposta, ou seja, a distribuição Weibull.

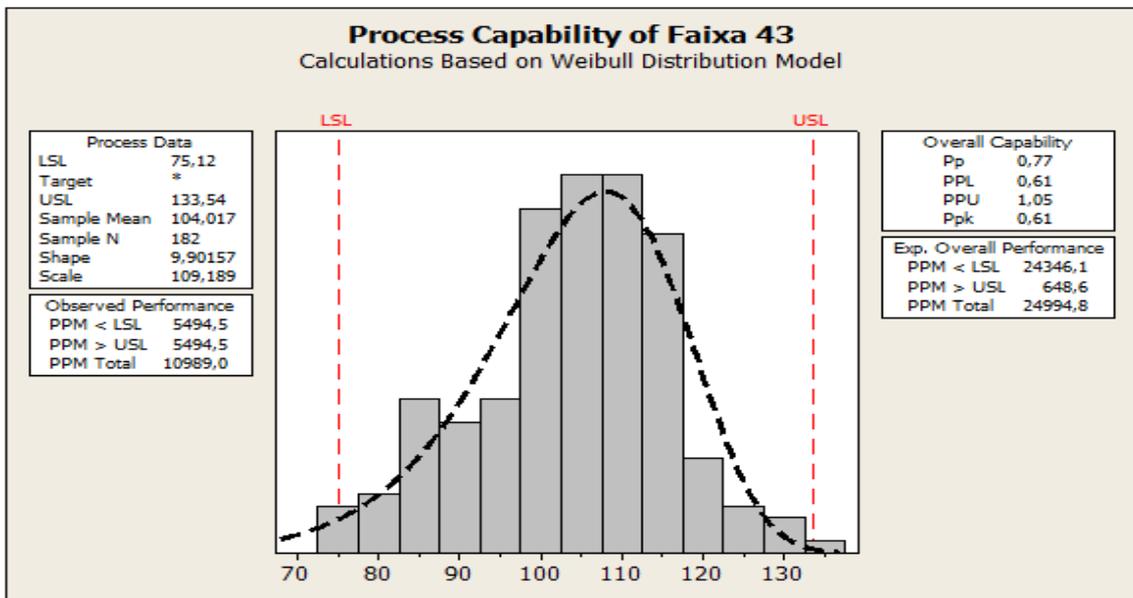


Gráfico 4.80 – Capabilidade do processo (faixa 43)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 2,43% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

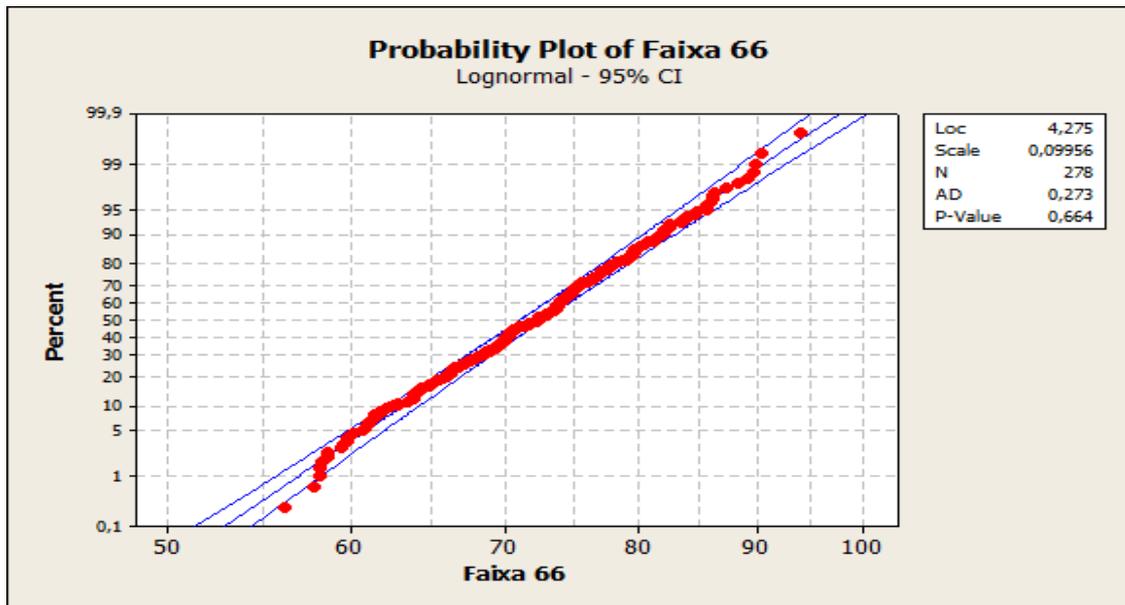


Gráfico 4.81 – Plotagem da probabilidade (faixa 66).

O valor de **p** indica que os dados desta faixa se aderem à distribuição proposta, ou seja, a distribuição Lognormal.

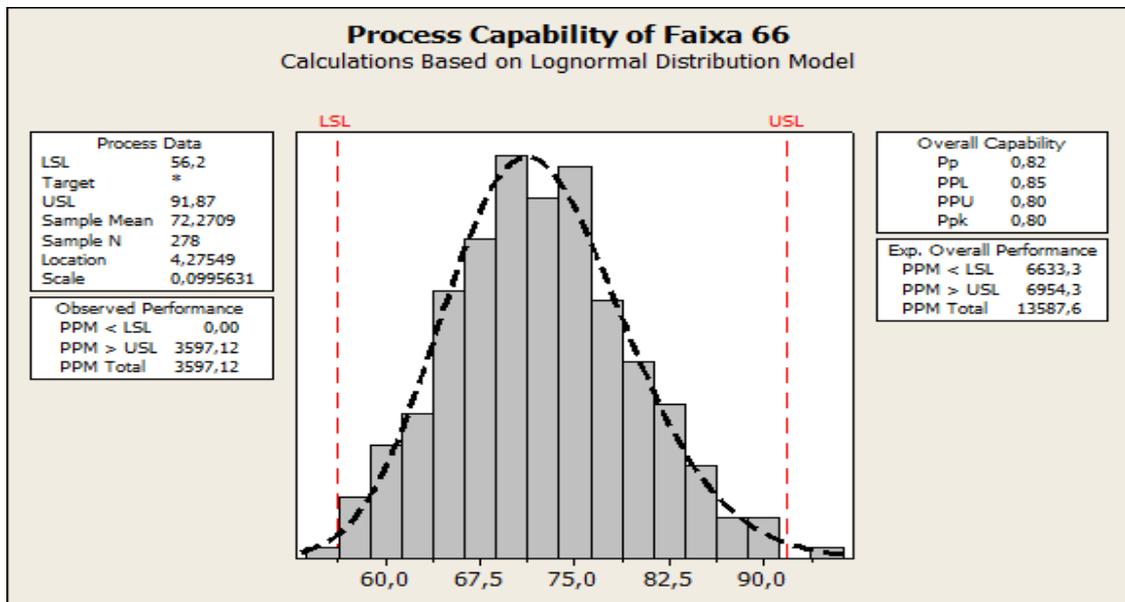


Gráfico 4.82 – Capabilidade do processo (faixa 66)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 0,66% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

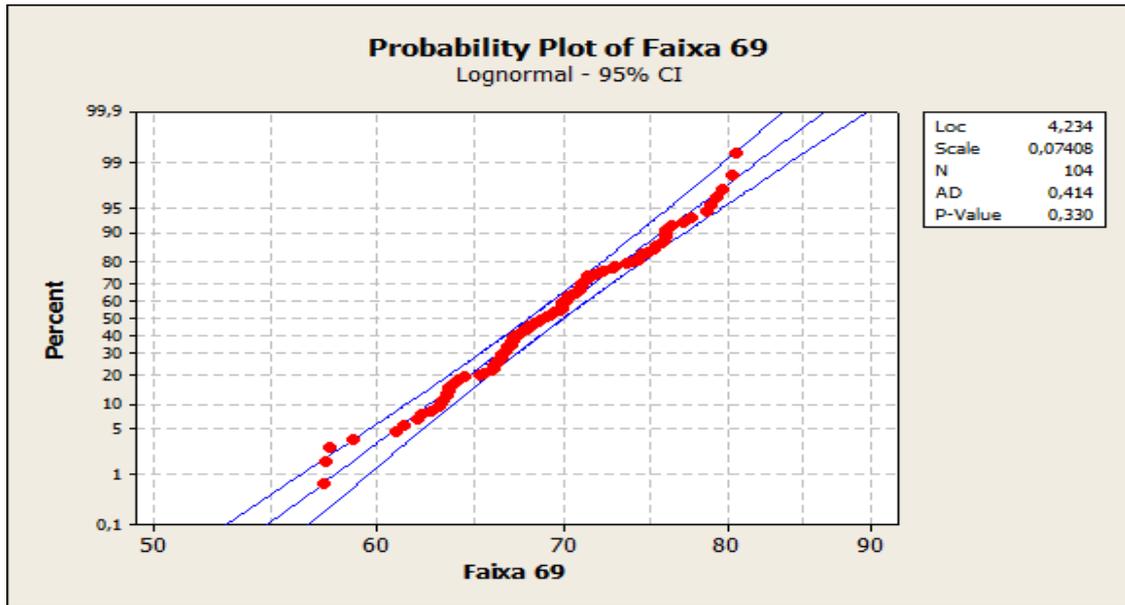


Gráfico 4.83 – Plotagem da probabilidade (faixa 69).

O valor de **p** indica que os dados desta faixa se aderem à distribuição proposta, ou seja, a distribuição Lognormal.

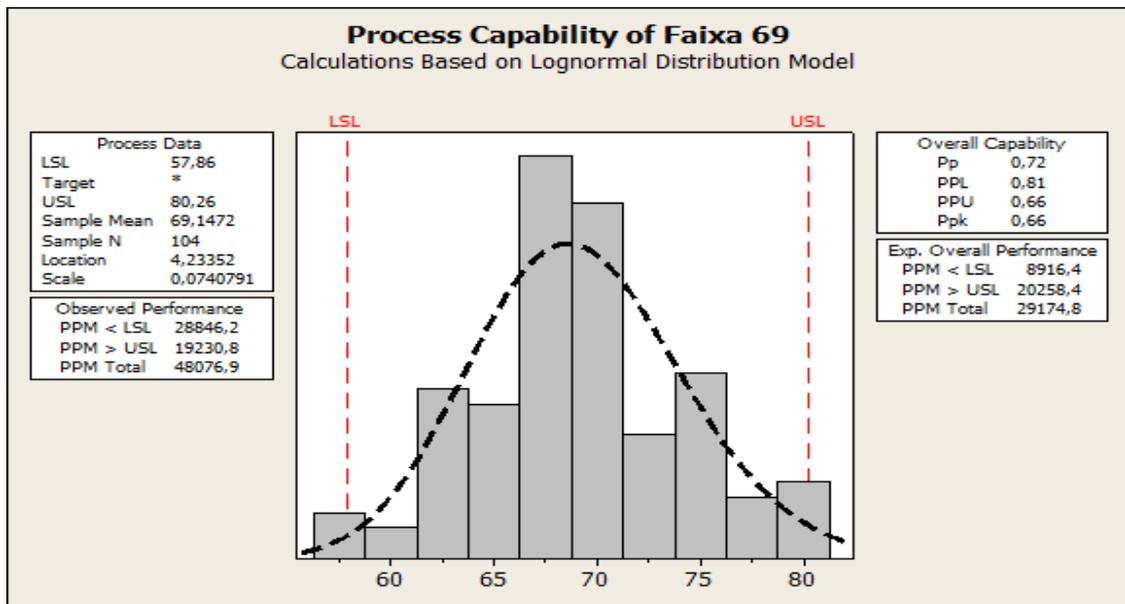


Gráfico 4.84 – Capabilidade do processo (faixa 69)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 0,89% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

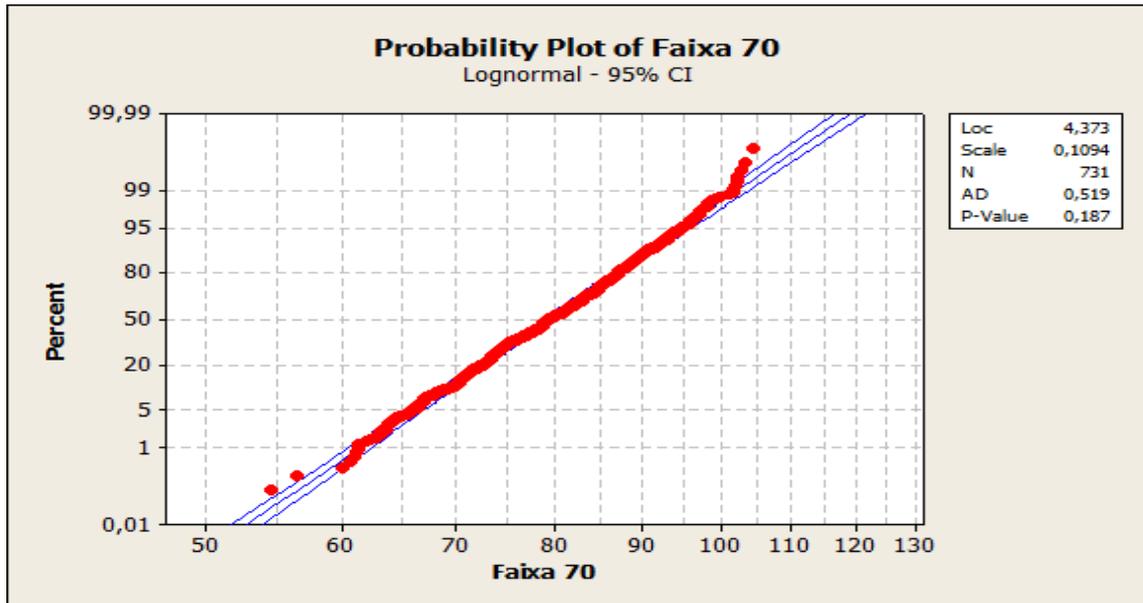


Gráfico 4.85 – Plotagem da probabilidade (faixa 70).

O valor de **p** indica que os dados desta faixa se aderem à distribuição proposta, ou seja, a distribuição Lognormal.

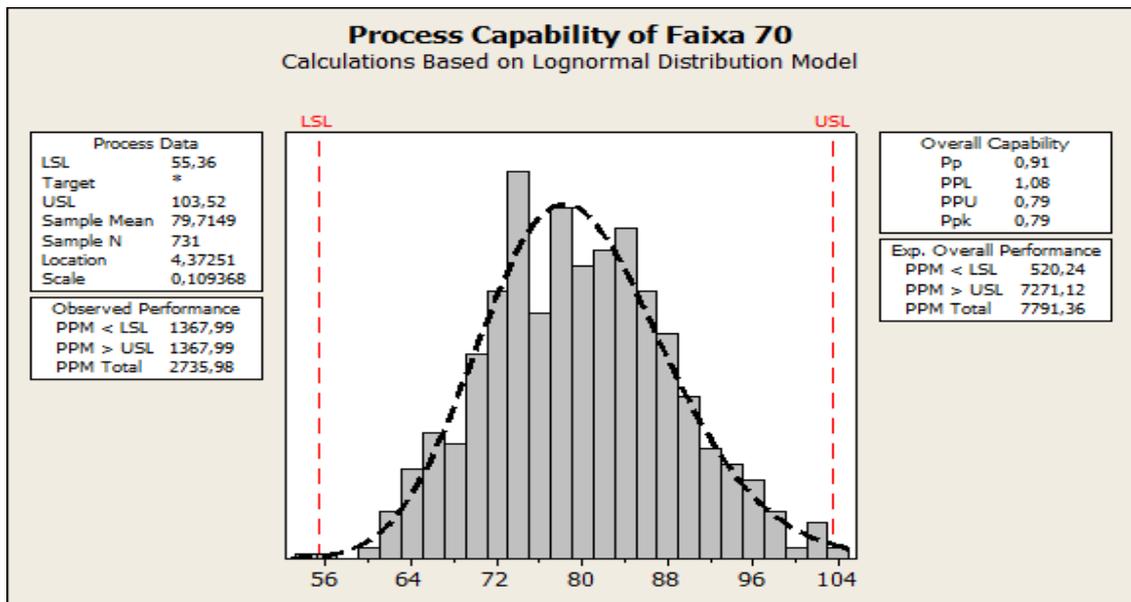


Gráfico 4.86 – Capabilidade do processo (faixa 70)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 0,05% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

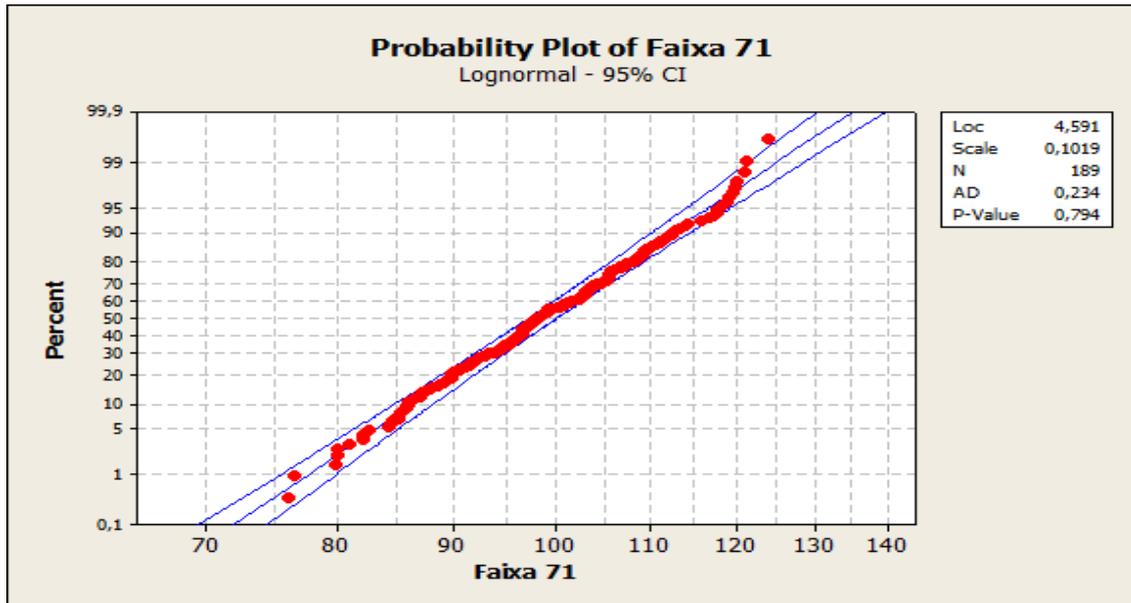


Gráfico 4.87 – Plotagem da probabilidade (faixa 71).

O valor de **p** indica que os dados desta faixa se aderem à distribuição proposta, ou seja, a distribuição Lognormal.

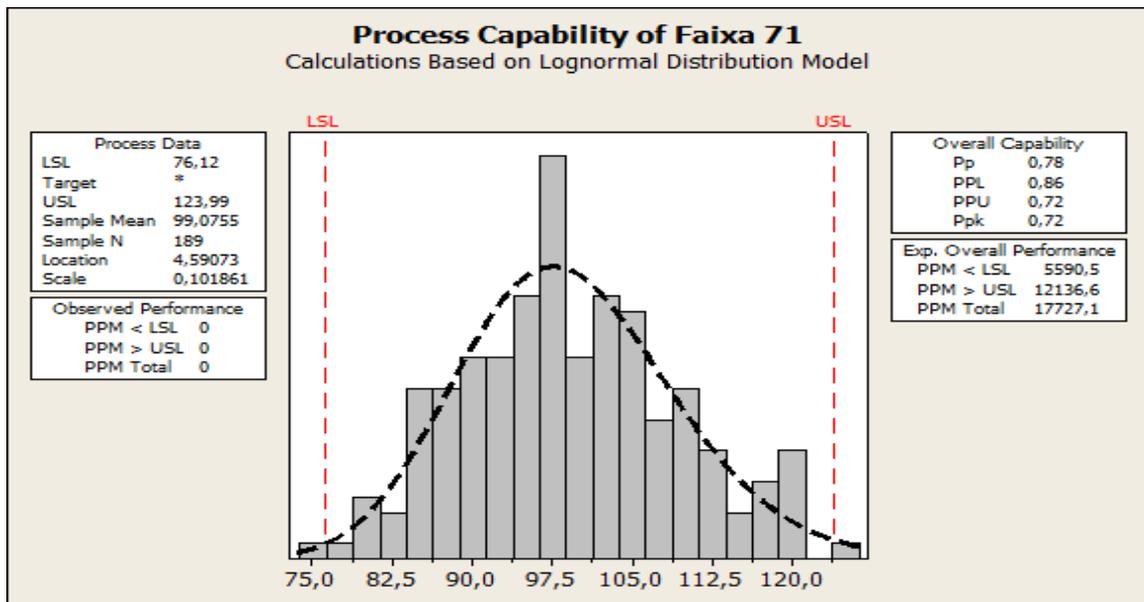


Gráfico 4.88 – Capacidade do processo (faixa 71)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 0,56% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

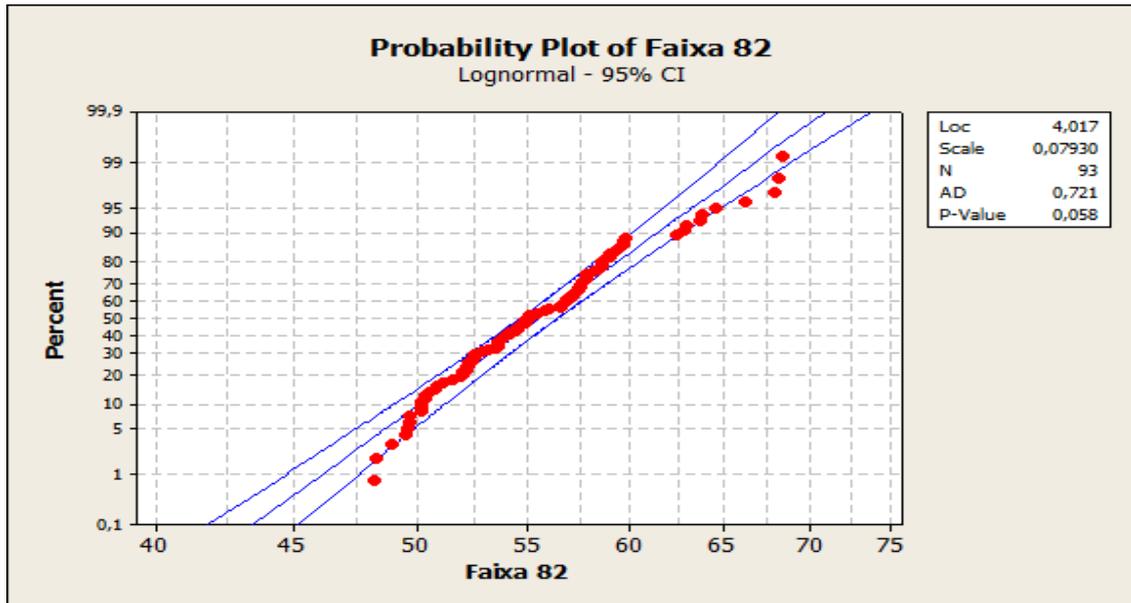


Gráfico 4.89 – Plotagem da probabilidade (faixa 82).

O valor de **p** indica que os dados desta faixa se aderem à distribuição proposta, ou seja, a distribuição Lognormal.

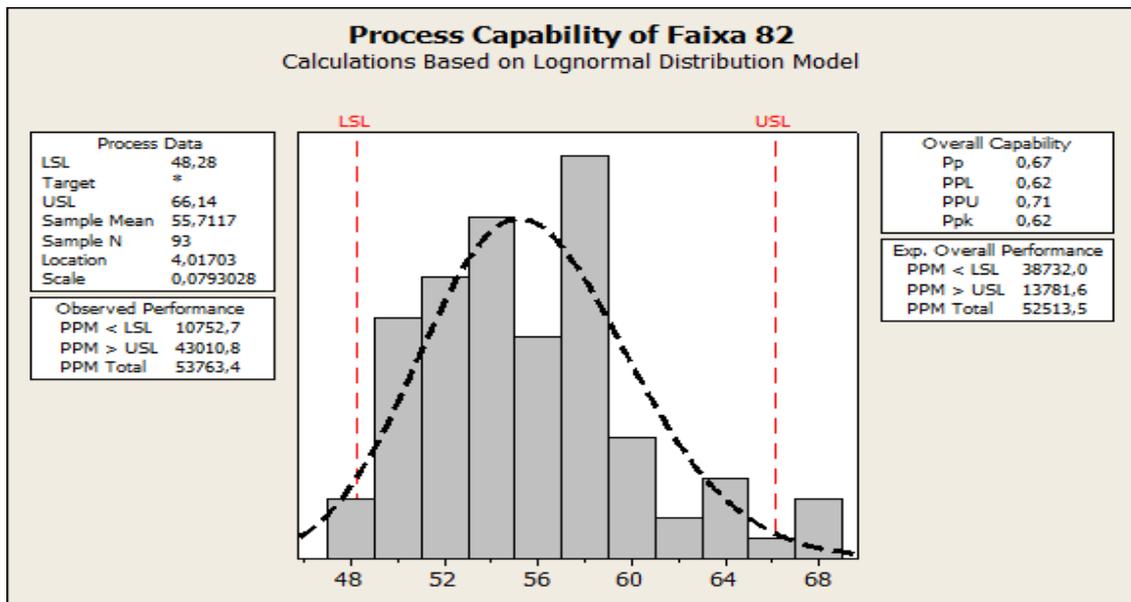


Gráfico 4.90 – Capabilidade do processo (faixa 82)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 3,87% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

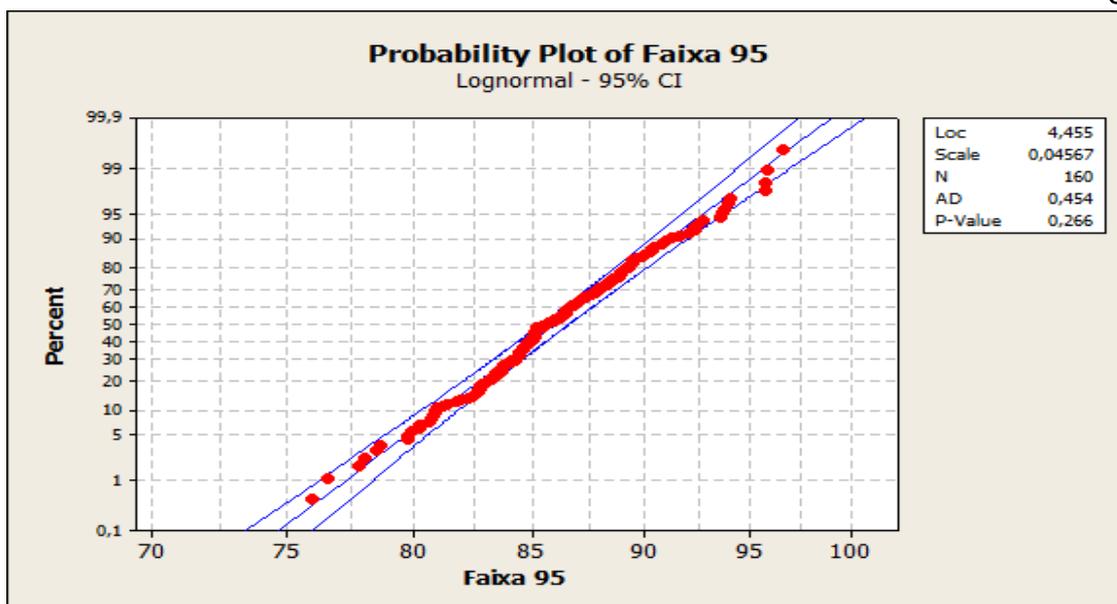


Gráfico 4.91 – Plotagem da probabilidade (faixa 95).

O valor de **p** indica que os dados desta faixa se aderem à distribuição proposta, ou seja, a distribuição Lognormal.

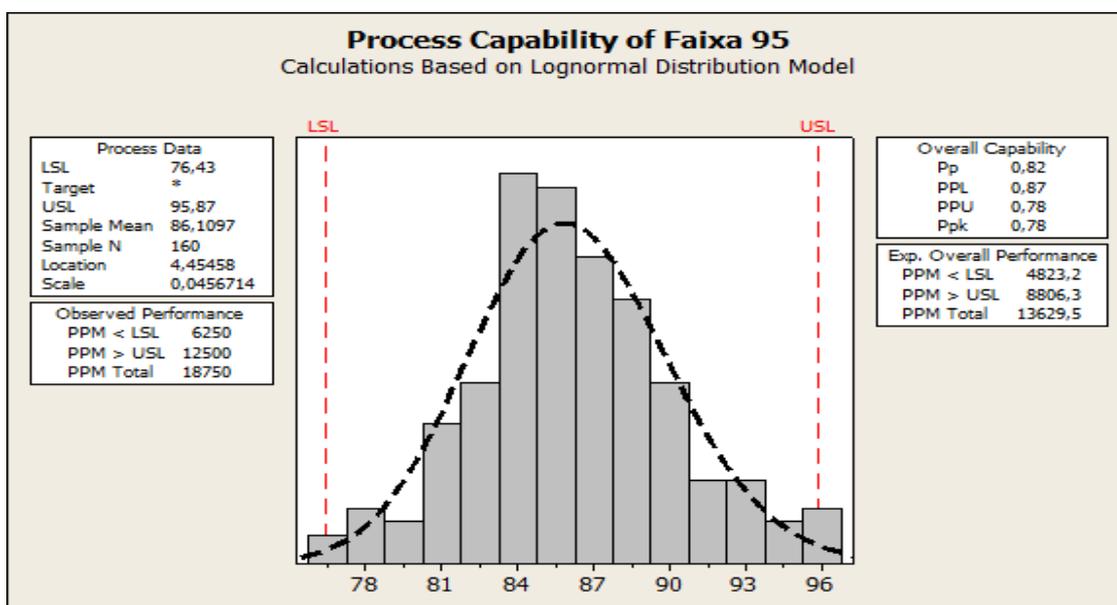


Gráfico 4.92 – Capacidade do processo (faixa 95)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 0,48% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

Além das faixas de produtividade já apresentadas para o PLTCM, temos a seguir as faixas que utilizamos a distribuição de Weibull, apesar de valores de P-value menores que 0,01, devido ao fato do Input Analyser indicar como a distribuição mais apropriada para aquele conjunto de dados.

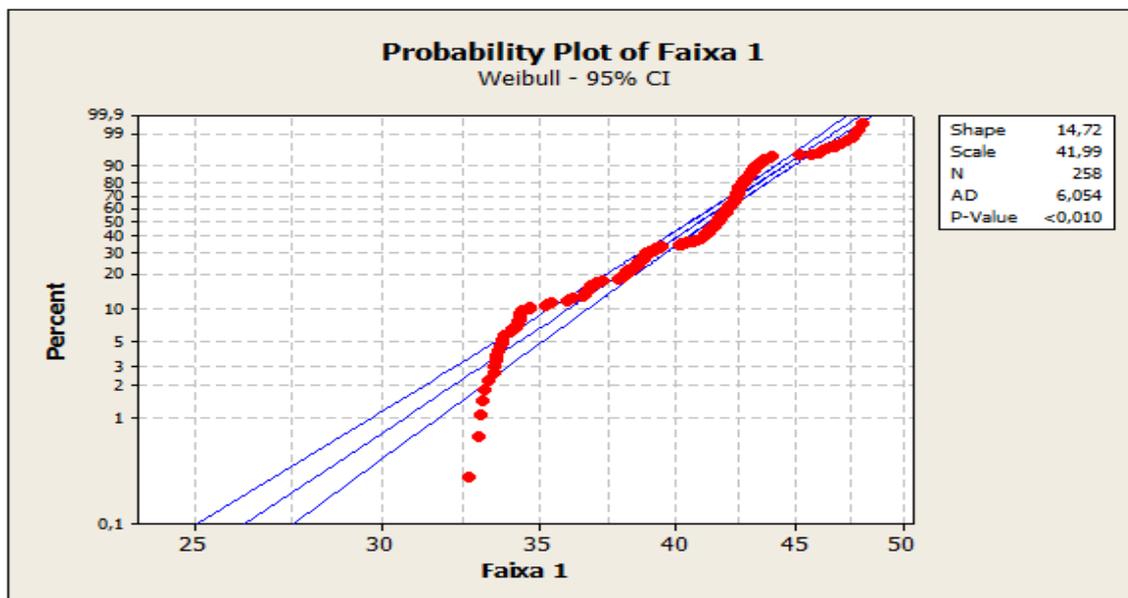


Gráfico 4.93 – Plotagem da probabilidade (faixa 1).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

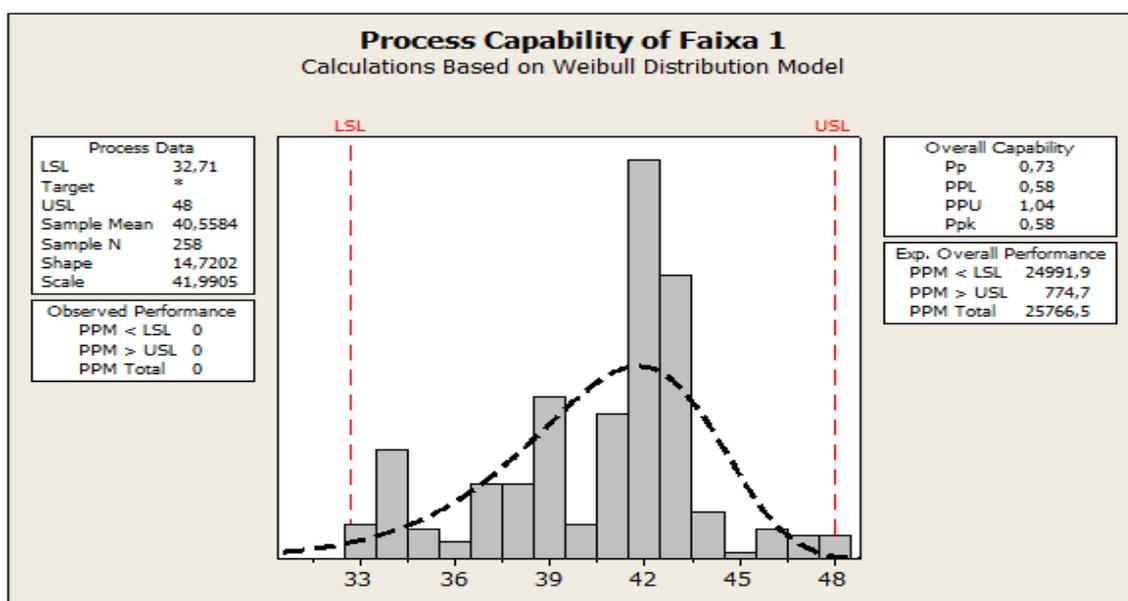


Gráfico 4.94 – Capabilidade do processo (faixa 1)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 2,5% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall (PPM < LSL).

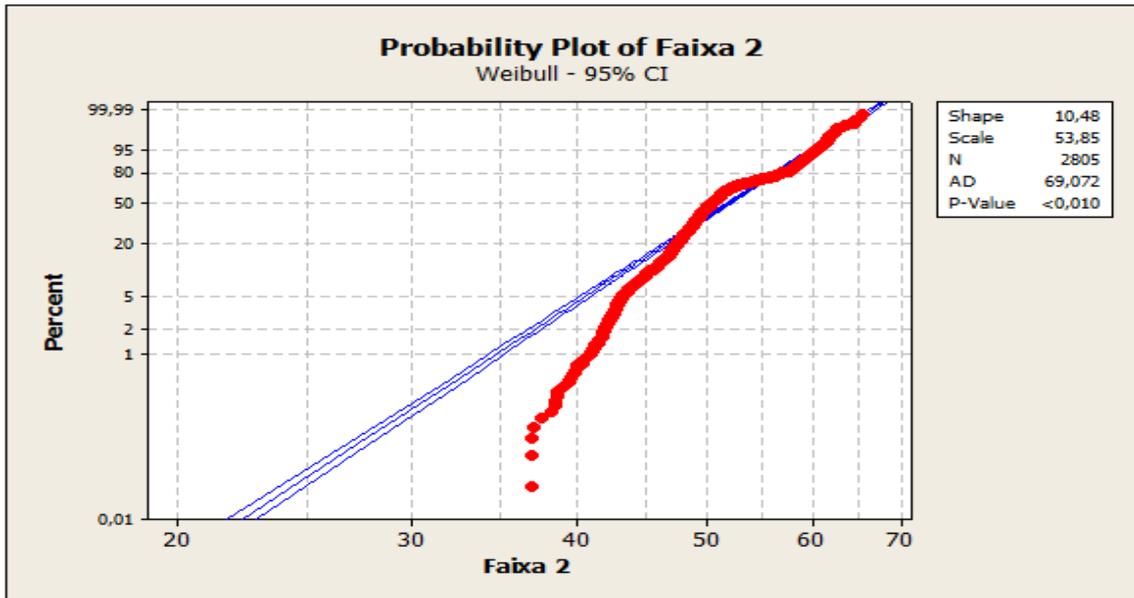


Gráfico 4.95 – Plotagem da probabilidade (faixa 2).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

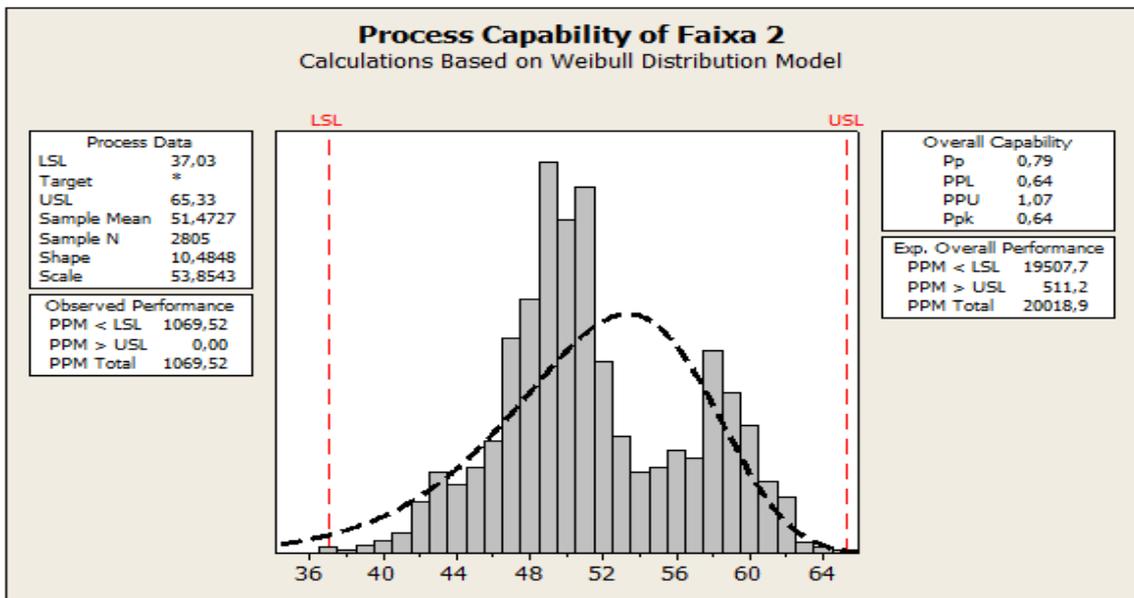


Gráfico 4.96 – Capabilidade do processo (faixa 2)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 1,95% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

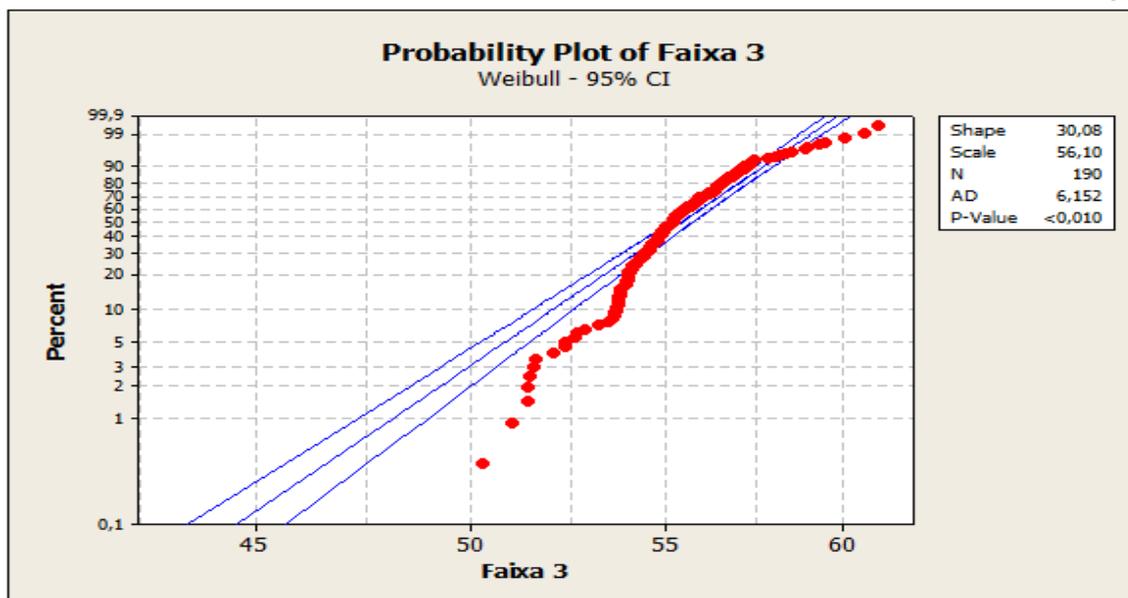


Gráfico 4.97 – Plotagem da probabilidade (faixa 3).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

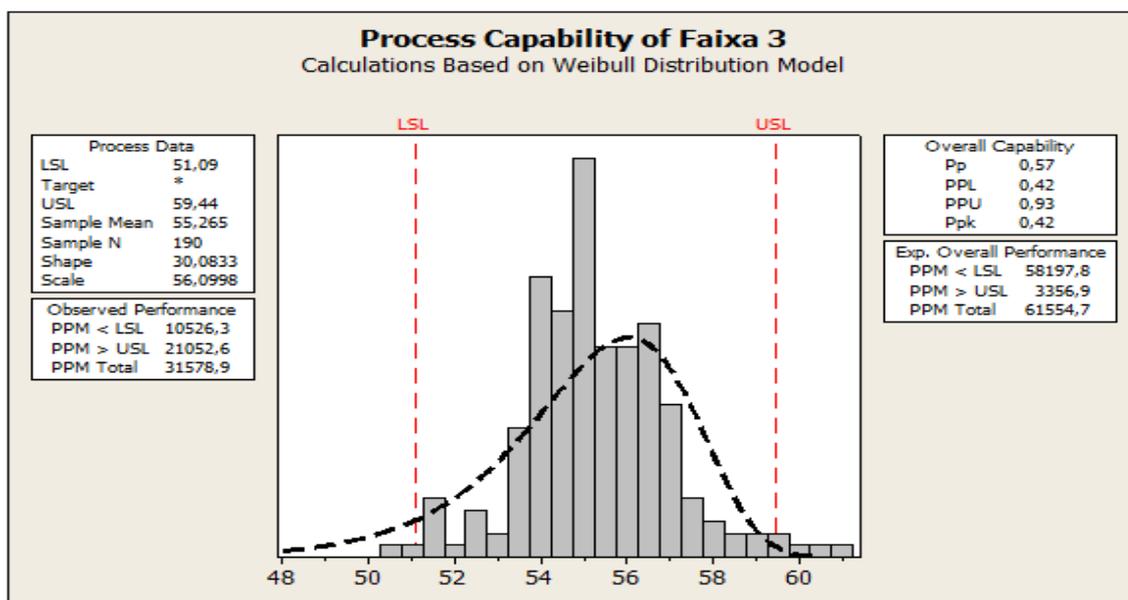


Gráfico 4.98 – Capabilidade do processo (faixa 3)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 5,82% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

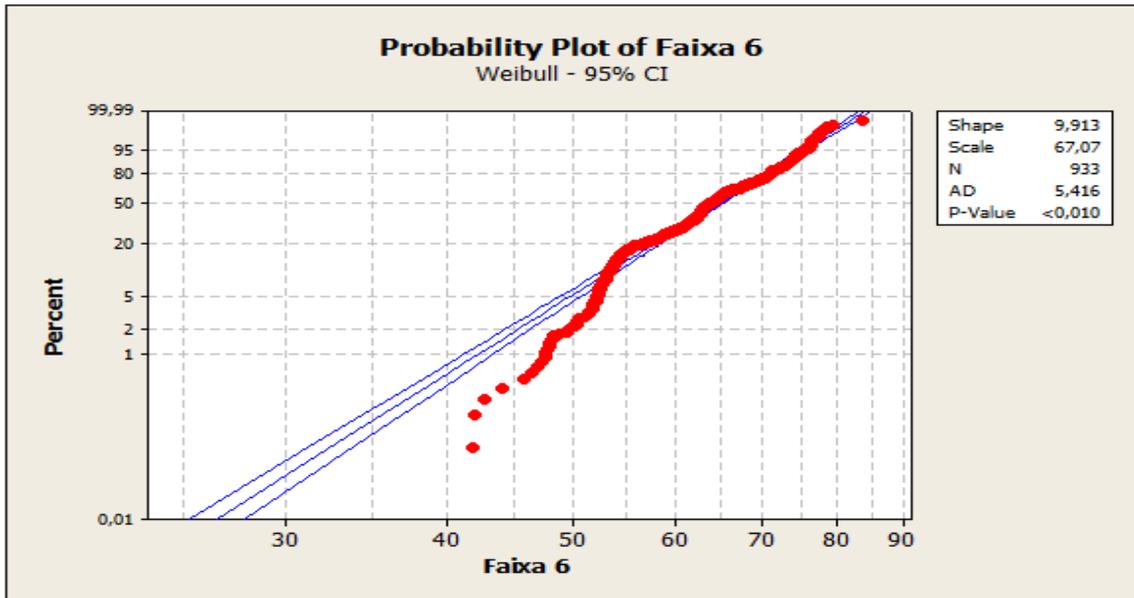


Gráfico 4.99 – Plotagem da probabilidade (faixa 6).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

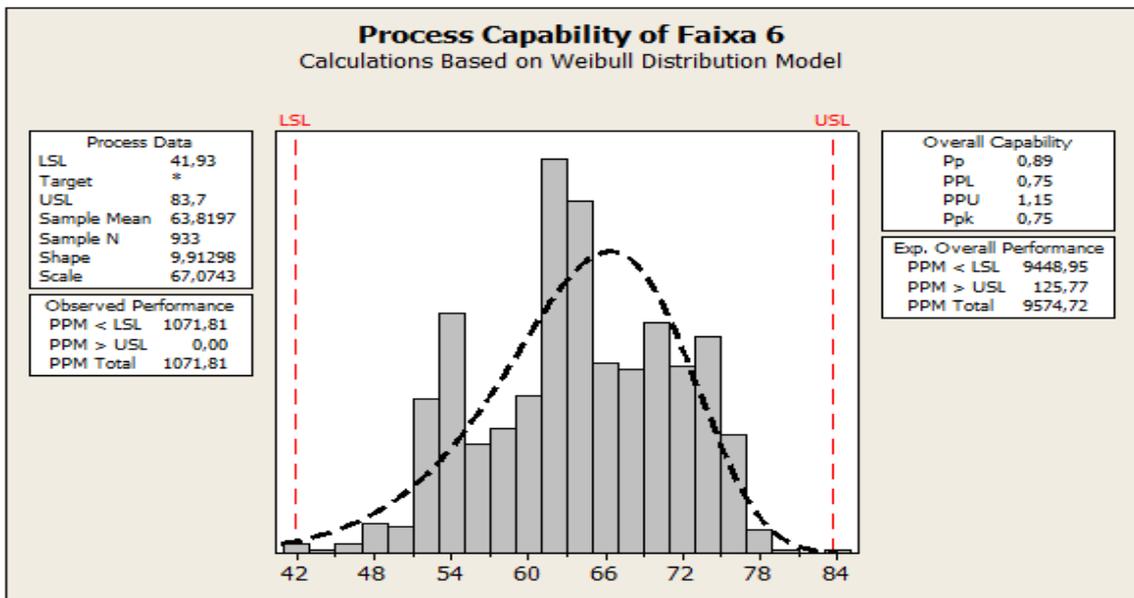


Gráfico 4.100 – Capabilidade do processo (faixa 6)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 0,94% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

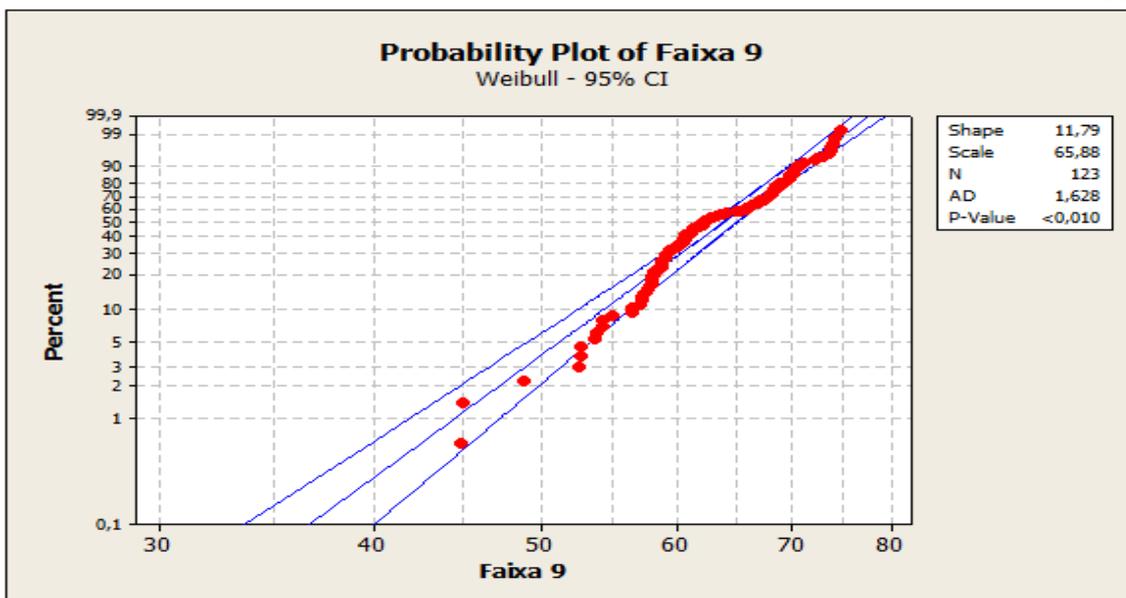


Gráfico 4.101 – Plotagem da probabilidade (faixa 9).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

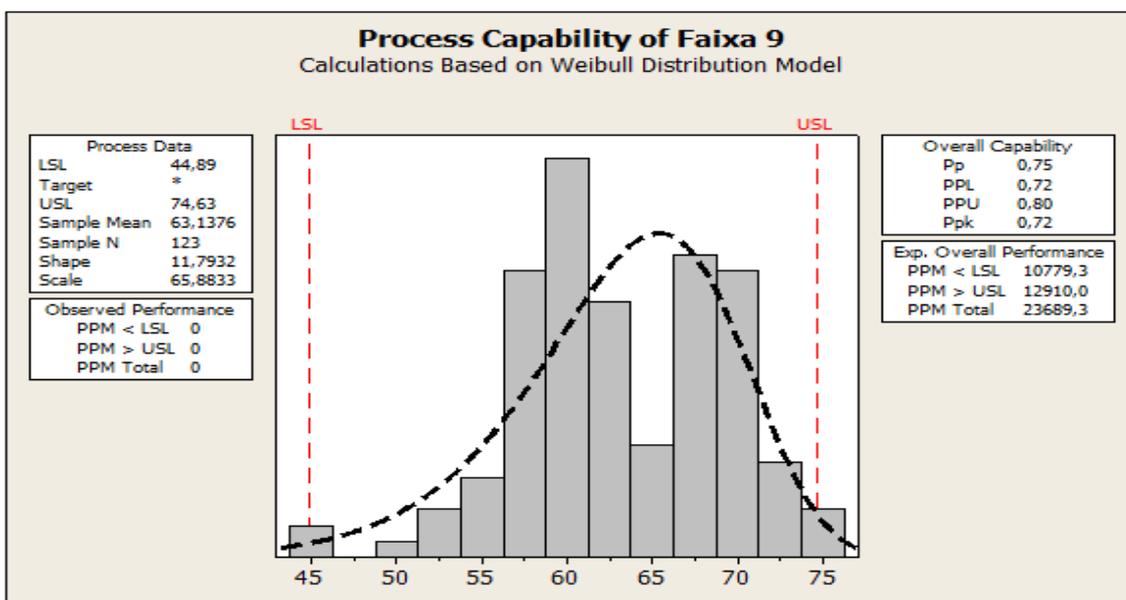


Gráfico 4.102 – Capabilidade do processo (faixa 9)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 1,08% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

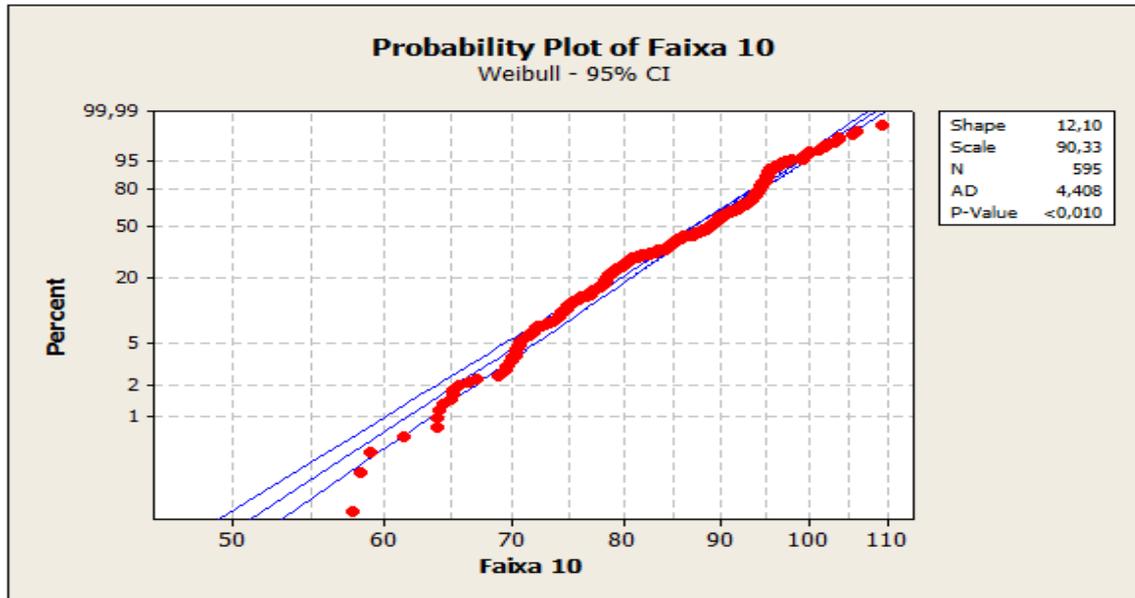


Gráfico 4.103 – Plotagem da probabilidade (faixa 10).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

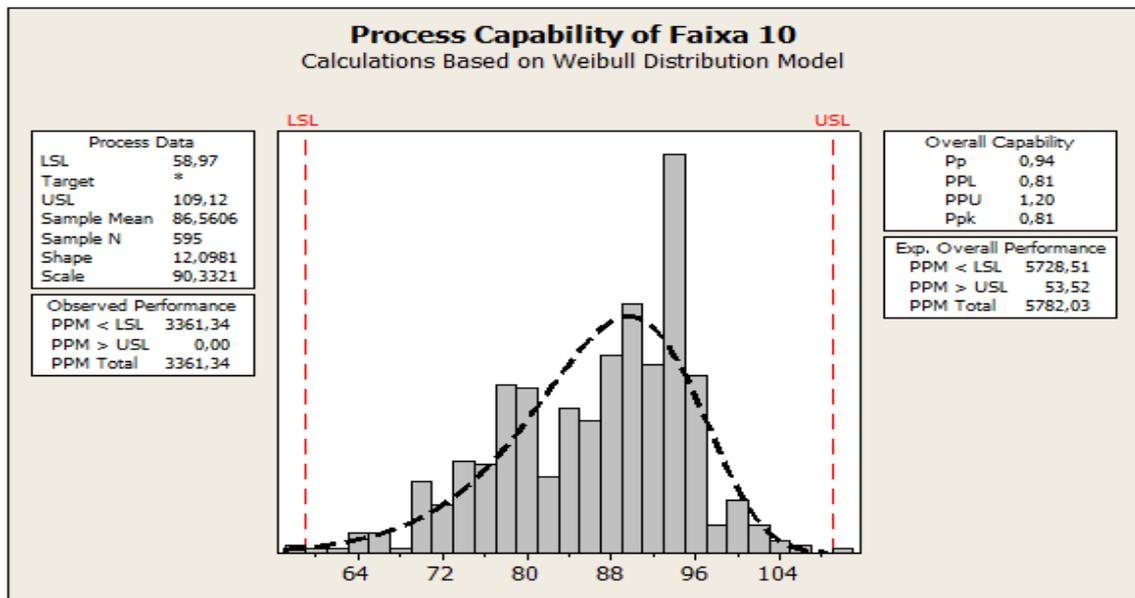


Gráfico 4.104 – Capabilidade do processo (faixa 10)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 0,57% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

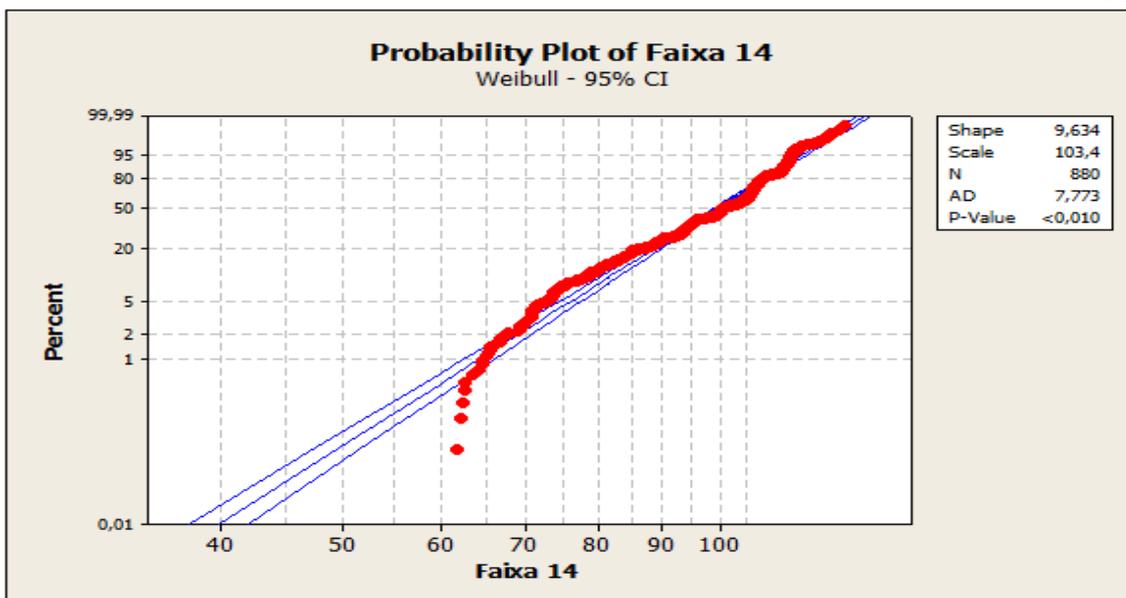


Gráfico 4.105 – Plotagem da probabilidade (faixa 14).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

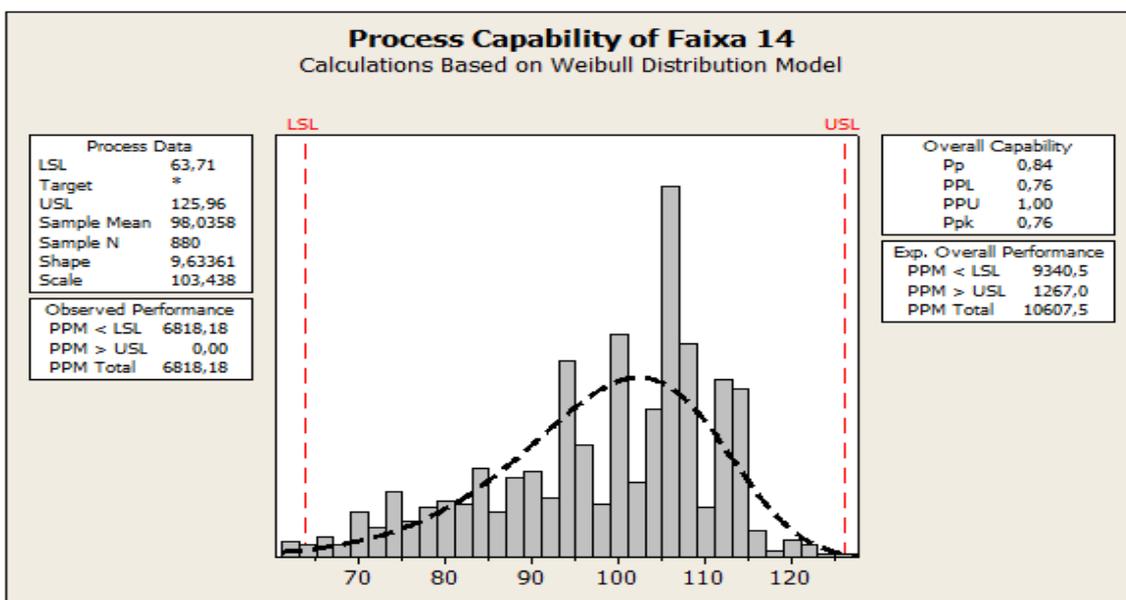


Gráfico 4.106 – Capabilidade do processo (faixa 14)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 0,93% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

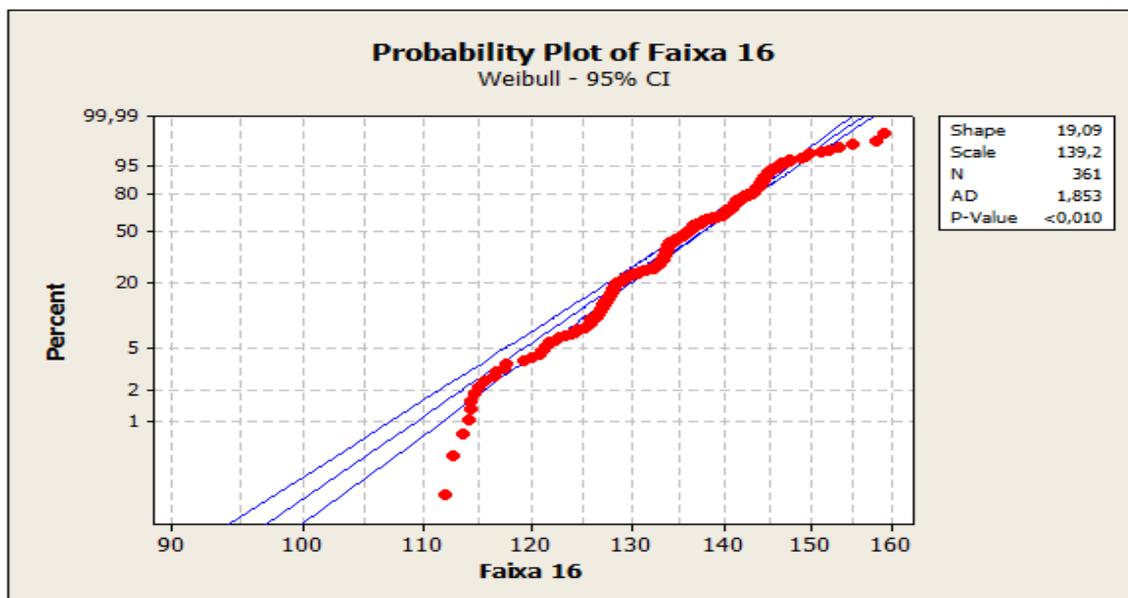


Gráfico 4.107 – Plotagem da probabilidade (faixa 16).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

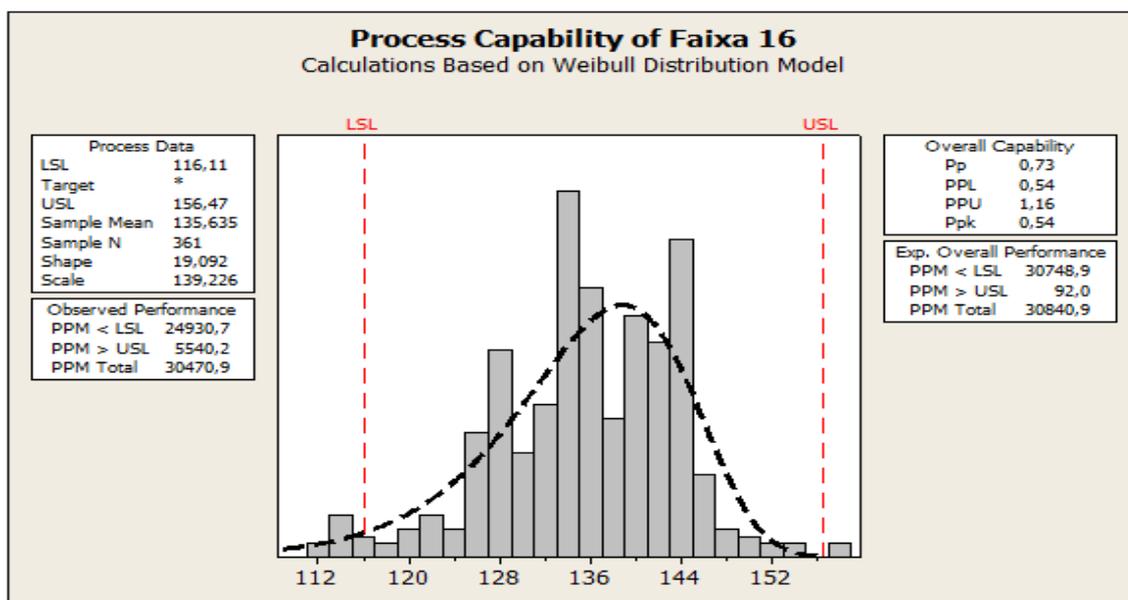


Gráfico 4.108 – Capabilidade do processo (faixa 16)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 3,01% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

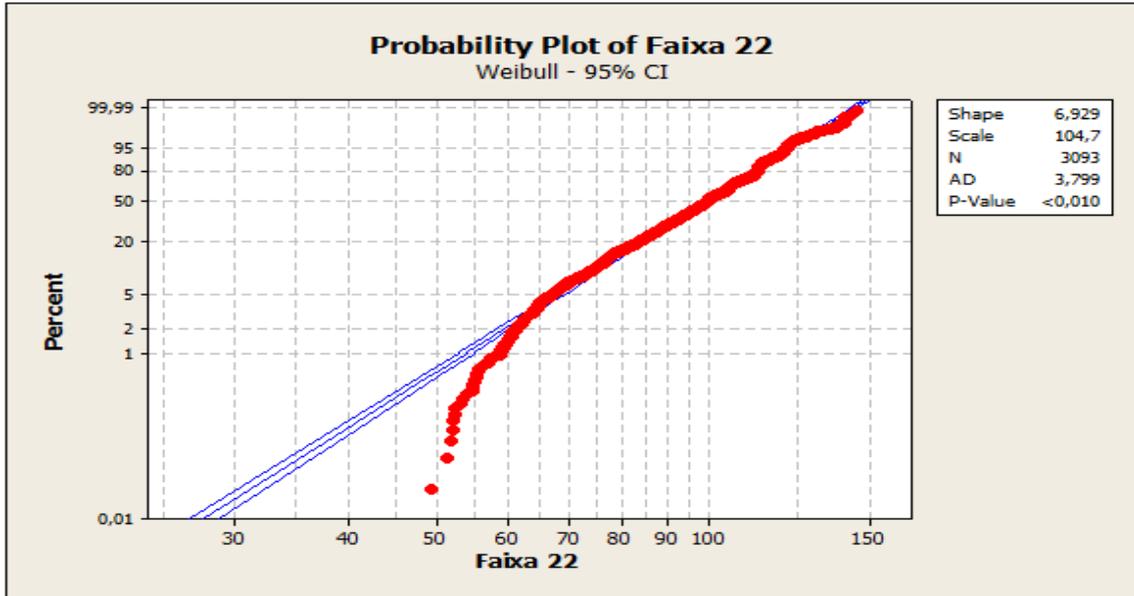


Gráfico 4.109 – Plotagem da probabilidade (faixa 22).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

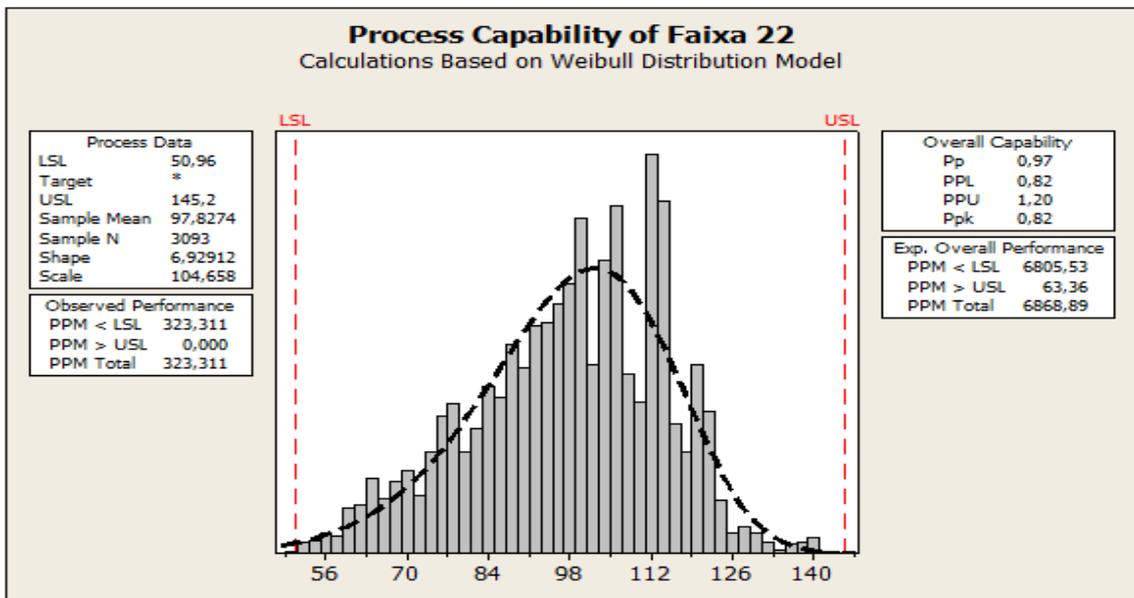


Gráfico 4.110 – Capabilidade do processo (faixa 22)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 0,68% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

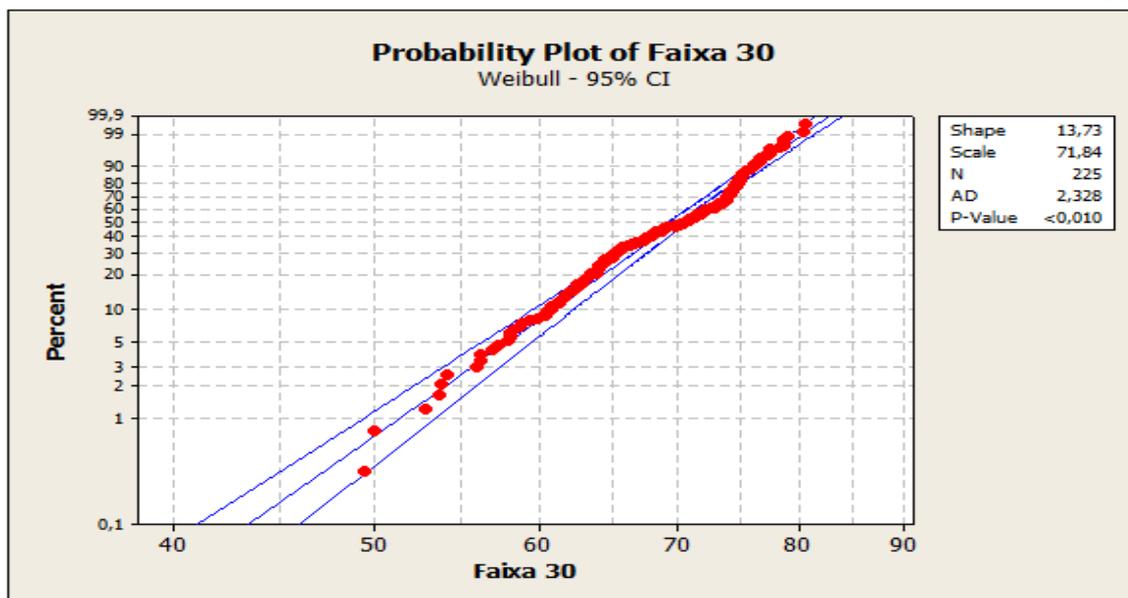


Gráfico 4.111 – Plotagem da probabilidade (faixa 30).

O valor de p indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

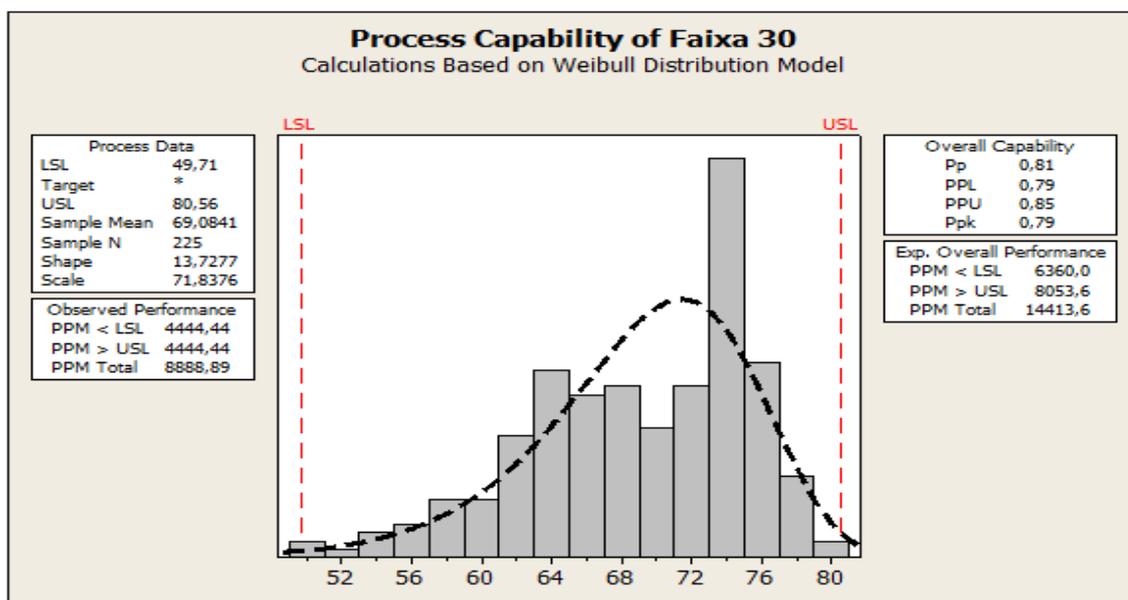


Gráfico 4.112 – Capabilidade do processo (faixa 30)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 0,63% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

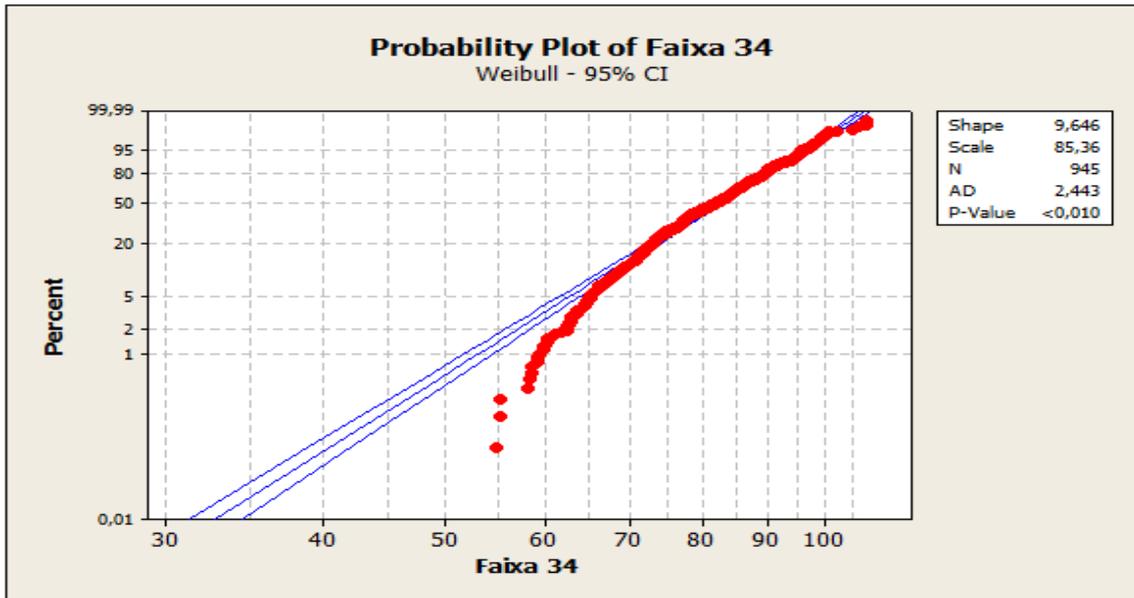


Gráfico 4.113 – Plotagem da probabilidade (faixa 34).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

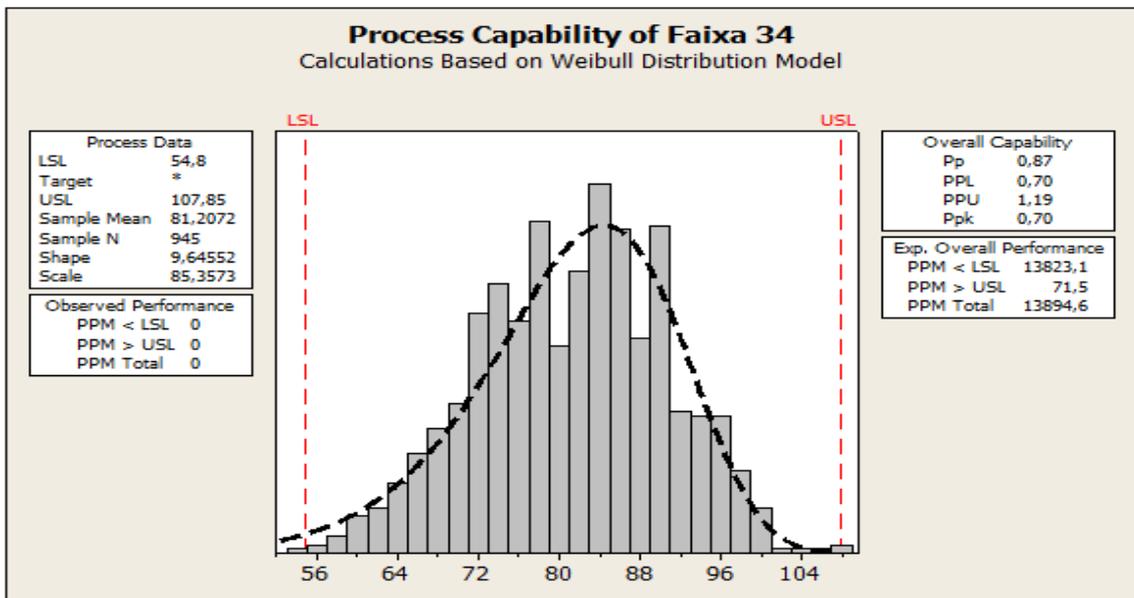


Gráfico 4.114 – Capabilidade do processo (faixa 34)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 1,38% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

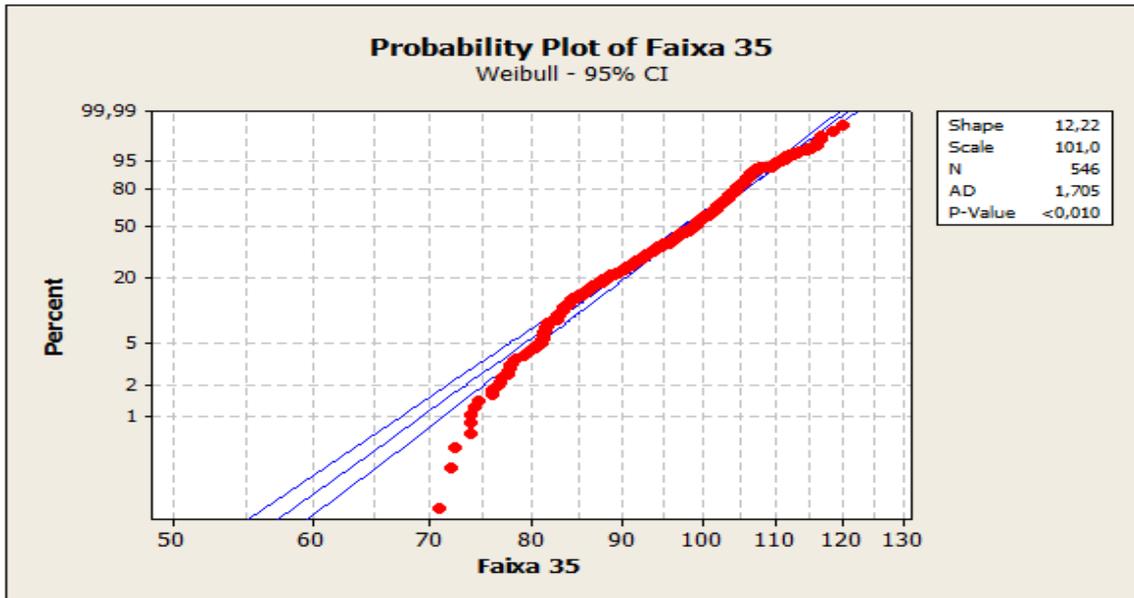


Gráfico 4.115 – Plotagem da probabilidade (faixa 35).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

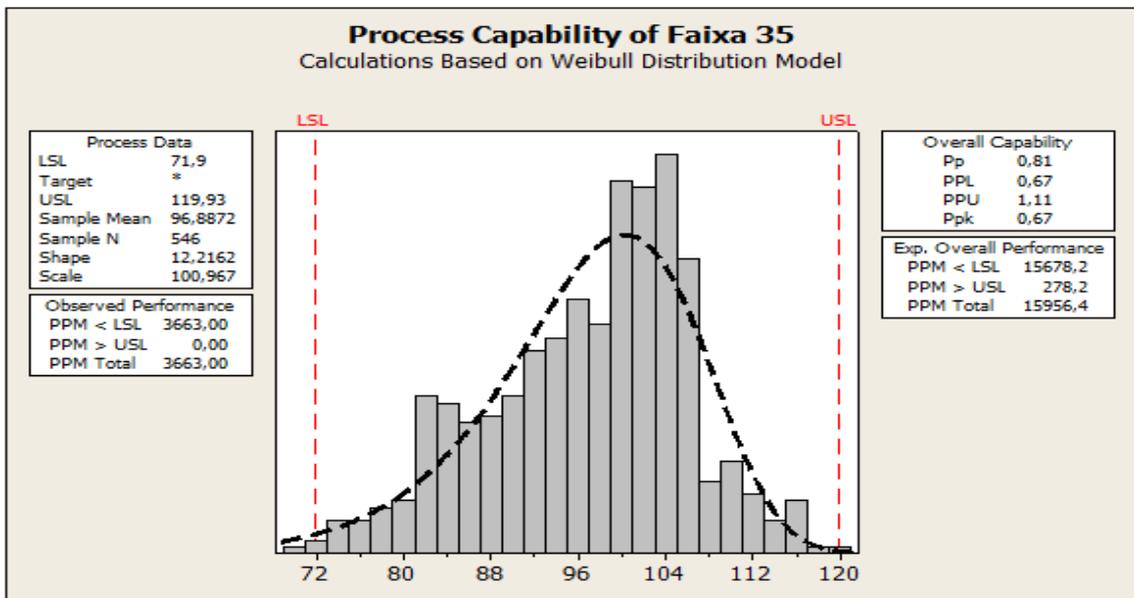


Gráfico 4.116 – Capabilidade do processo (faixa 35)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 1,57% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

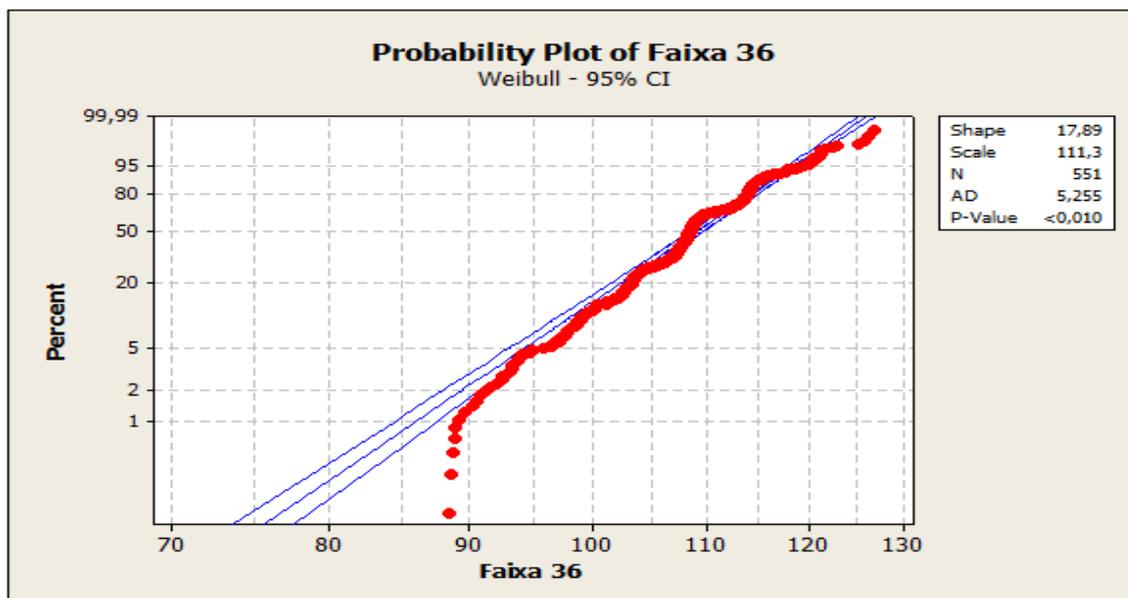


Gráfico 4.117 – Plotagem da probabilidade (faixa 36).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

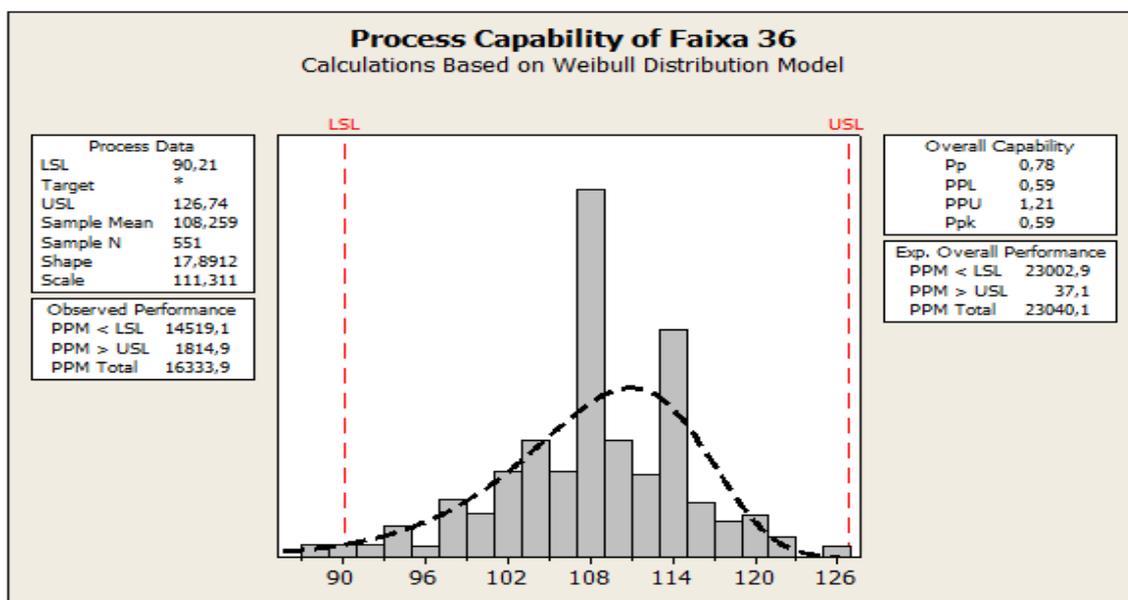


Gráfico 4.118 – Capabilidade do processo (faixa 36)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 2,30% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

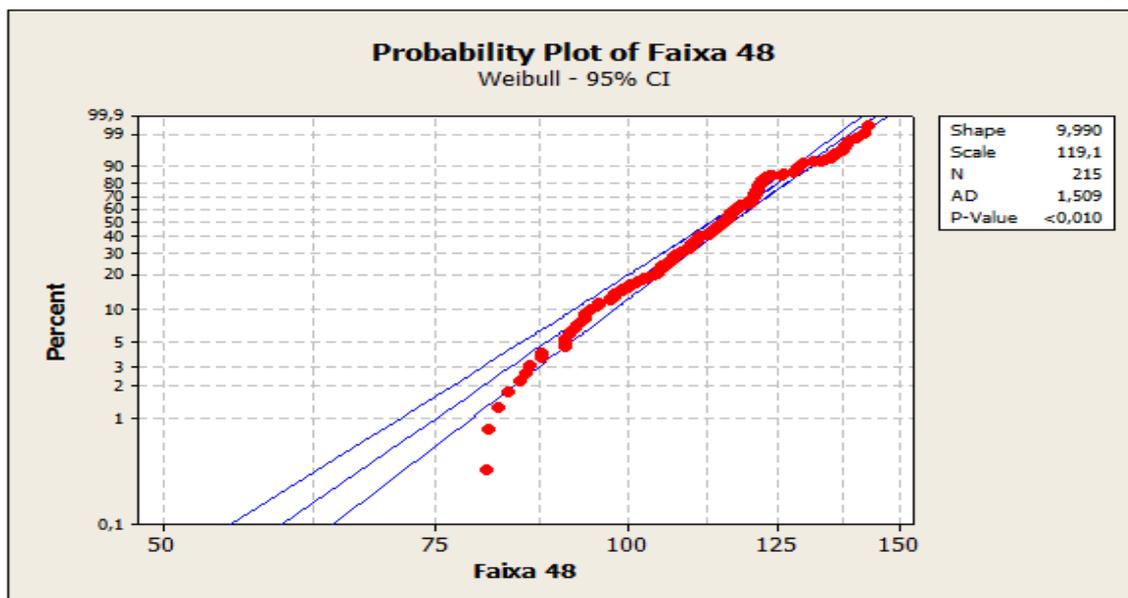


Gráfico 4.119 – Plotagem da probabilidade (faixa 48).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

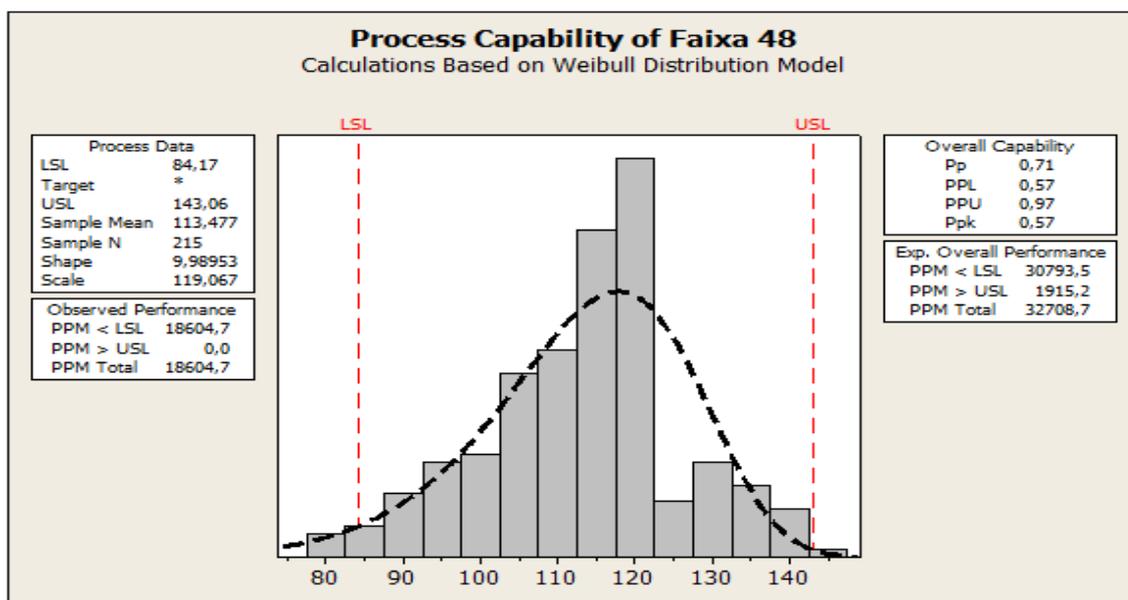


Gráfico 4.120 – Capabilidade do processo (faixa 48)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 3,08% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

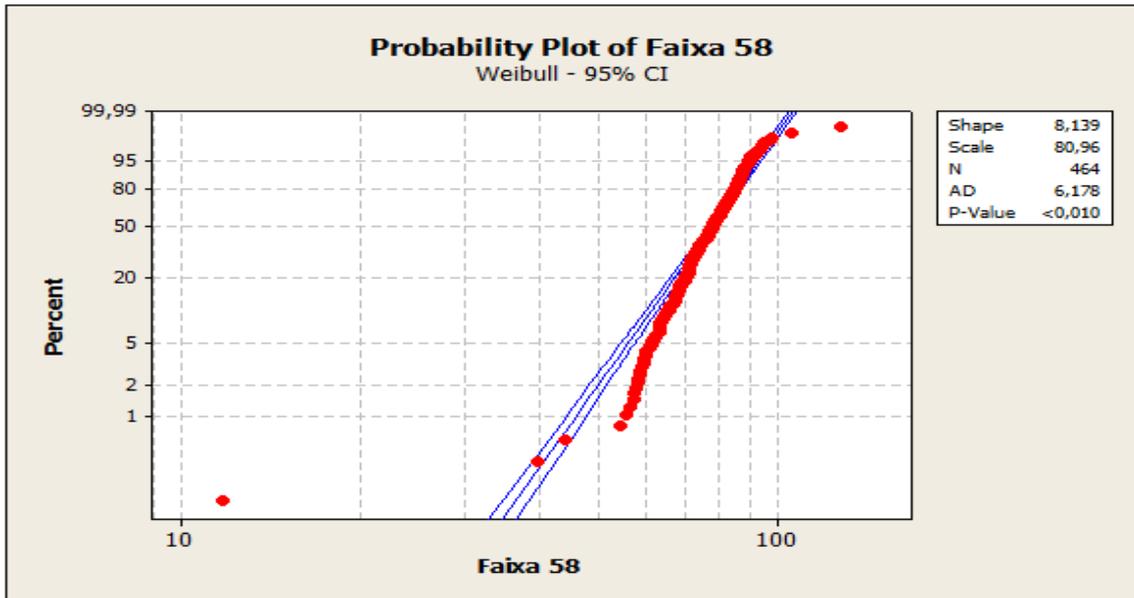


Gráfico 4.121 – Plotagem da probabilidade (faixa 58).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

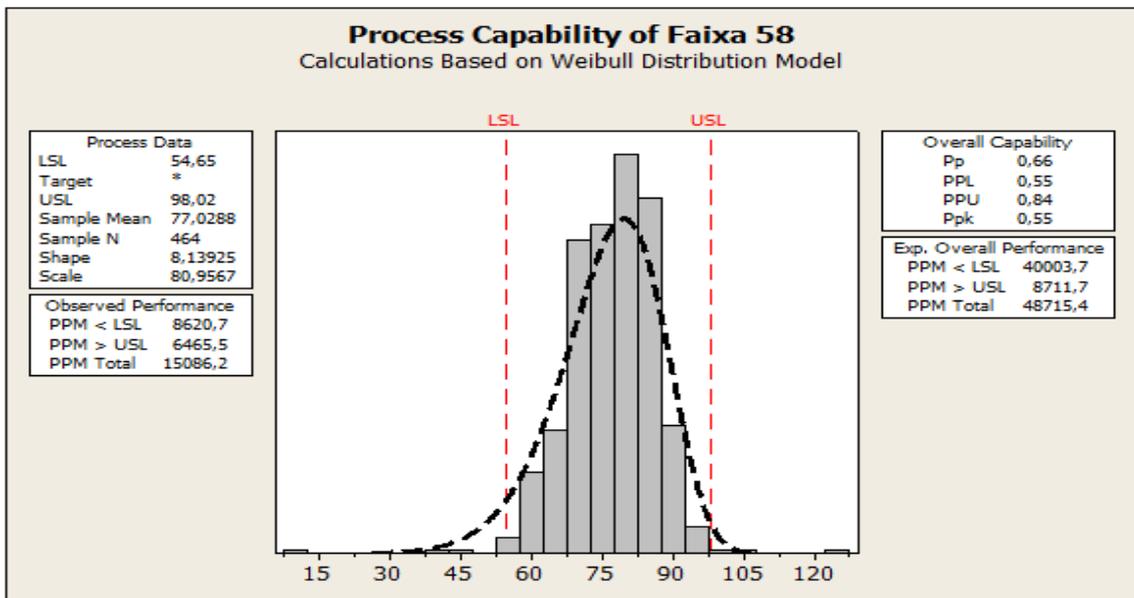


Gráfico 4.122 – Capacidade do processo (faixa 58)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 4,0% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

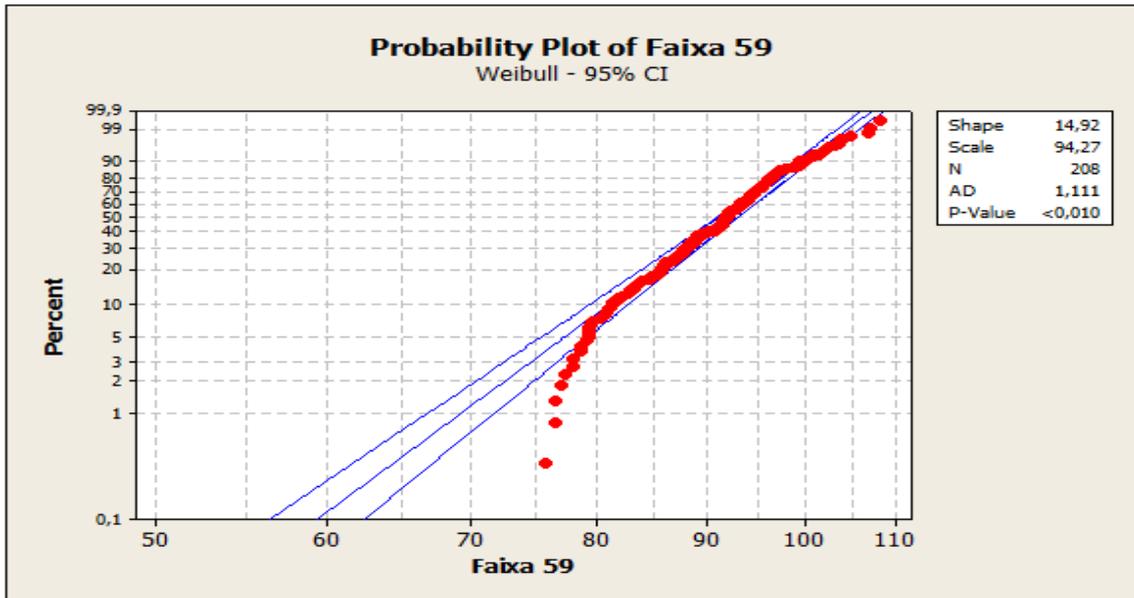


Gráfico 4.123 – Plotagem da probabilidade (faixa 59).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

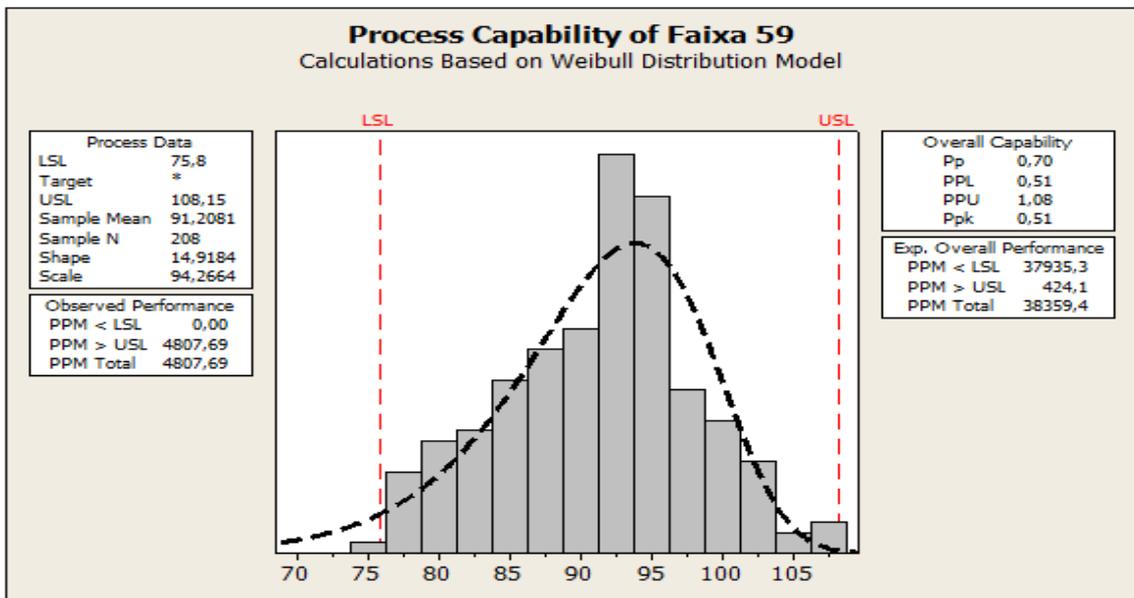


Gráfico 4.124 – Capabilidade do processo (faixa 59)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 3,79% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

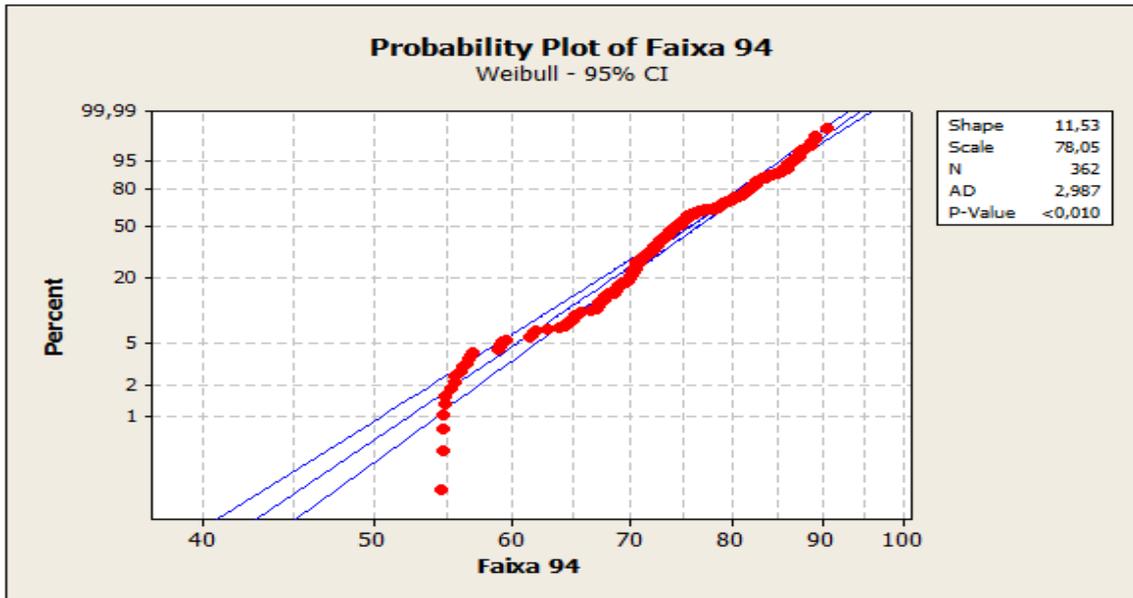


Gráfico 4.125 – Plotagem da probabilidade (faixa 94).

O valor de **p** indica que não temos evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que os dados desta faixa aderem à distribuição proposta.

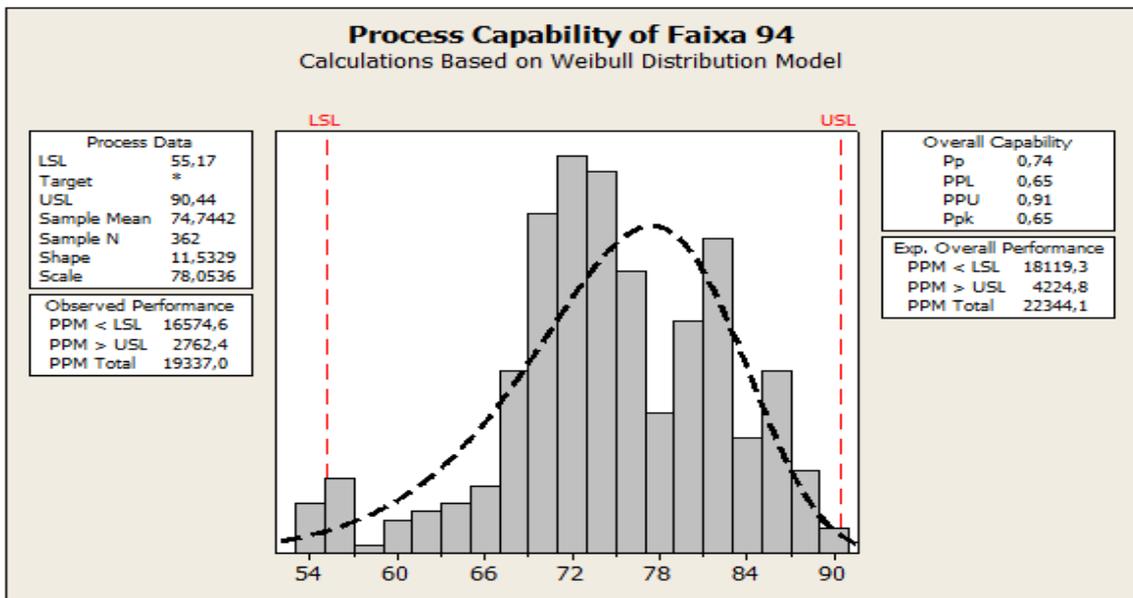


Gráfico 4.126 – Capabilidade do processo (faixa 94)

Pode-se dizer que para esta faixa de produção o processo não tem desempenho capaz ($P_p < 1,0$), e espera-se que 1,81% da produção nesta faixa não atinja a meta proposta, conforme mostrado no quadro performance overall ($PPM < LSL$).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este trabalho apresenta uma análise das metas de produtividade propostas para duas linhas de produção, as métricas de desempenho de processo utilizadas foram as toneladas de produtos produzidos por hora.

Devido ao fato de estas metas serem elaboradas através de um procedimento empírico, sua alcançabilidade muitas vezes é questionada pelas áreas de produção, este fato pesa negativamente no planejamento de produção da fábrica.

Assim, este trabalho foca em definir uma metodologia prática de validação dos procedimentos adotados para elaboração das metas de diversas linhas de produção da empresa.

Os dados utilizados foram colhidos diretamente dos computadores de processos através de banco de dados Oracle utilizando a ferramenta Access do Microsoft Office.

Usou-se na análise o Pp, índice de desempenho do processo, que conforme já explicado mede o desempenho atual do processo.

Com base nos resultados das análises, *tabelas 5.1 e 5.2*, viu-se que os processos em sua grande maioria, baseando-se em limites de especificação, não tem desempenho satisfatório para estatisticamente atender as metas propostas, nas colunas “% fora da meta esperado” e “% fora da meta observado” estão os resultados das análises das faixas.

A ferramenta Minitab mostrou que porcentagem média esperada de resultados fora destes limites é de 1,92% para o PLTCM e de 1,65% para o CAPL, que apesar de não conferirem a capacidade de desempenho de processo nas faixas de tolerância definidas, validam as metas existentes por compreender

que as áreas de produção devem buscar uma melhoria contínua nos resultados.

Apesar de em sua grande maioria os dados se apresentarem dentro dos limites especificados, o índice Pp é altamente influenciado pela dispersão dos dados em torno da média, ou seja, o espalhamento na distribuição dos dados entre os limites estabelecidos.

Os dados que influenciaram negativamente o índice de desempenho de processo, Pp, se encontram nos limites das faixas inferiores (espessura e largura) de produção, tornando os processos não capazes.

As metas estabelecidas são alcançáveis e desafiadoras, condizendo com a proposta de se fomentar uma utilização mais eficiente das linhas de produção e a melhoria contínua dos processos.

Linha de Decapagem Acoplada ao Laminador - PLTCM						
Faixa	Produtividade mínima	Qtd. Bobinas	Capabilidade (Pp)	% fora da meta Observado	% fora da meta Esperado	Distribuição adequada
10	138,52	351	0,87	0,00	0,36	Weibull
13	148,16	8078	0,77	0,09	1,52	Weibull
18	135,80	160	0,78	0,00	2,33	Weibull
22	142,06	422	0,83	0,95	1,45	Weibull
23	183,17	359	0,78	1,67	2,03	Weibull
25	141,18	989	0,89	0,20	1,18	Weibull
26	181,86	4115	0,81	1,04	1,85	Weibull
27	221,86	8632	0,79	1,40	2,17	Weibull
28	227,99	1031	0,84	0,00	1,32	Weibull
29	165,56	581	0,87	0,17	1,06	Weibull
30	214,74	2875	0,65	0,55	3,74	Weibull
31	256,56	1871	0,90	0,10	0,99	Weibull
33	87,79	281	0,96	0,00	0,70	Weibull
34	128,11	1661	0,75	0,18	2,49	Weibull
35	129,76	189	0,88	0,52	1,39	Weibull
38	141,12	518	0,68	1,15	3,62	Weibull
41	131,09	379	0,85	0,26	1,42	Weibull
42	165,06	1932	1,02	0,00	0,50	Weibull
43	205,90	503	0,86	0,00	1,34	Weibull
44	259,47	491	0,73	1,22	2,66	Weibull
45	154,63	871	0,85	0,11	1,54	Weibull
46	207,48	5994	0,56	1,06	6,95	Weibull
47	245,09	721	0,82	0,41	1,58	Weibull

Tabela 5.1 – Resultados das análises estatísticas PLTCM

Linha de Recozimento Contínuo - CAPL						
Faixa	Produtividade mínima	Qtd. Bobinas	Capabilidade (Pp)	% fora da meta Observado	% fora da meta Esperado	Distribuição adequada
1	39,53	258	0,73	0,00	2,49	Weibull
2	50,72	2805	0,79	0,10	1,95	Weibull
3	56,54	190	0,57	1,05	5,81	Weibull
6	60,66	933	0,89	0,10	0,94	Weibull
9	61,54	123	0,75	0,00	1,07	Weibull
10	77,34	595	0,94	0,33	0,57	Weibull
12	120,13	167	0,77	0,60	0,57	Lognormal
14	91,59	880	0,84	0,68	0,93	Weibull
16	124,25	361	0,73	2,49	3,07	Weibull
18	95,87	353	0,84	0,00	1,90	Weibull
21	79,43	226	0,84	0,00	0,14	Lognormal
22	95,95	3093	0,97	0,03	0,68	Weibull
23	109,91	714	0,80	0,98	0,46	Gamma
24	111,22	146	0,86	0,00	0,54	Weibull
30	66,29	225	0,81	0,44	0,63	Weibull
33	63,25	201	0,76	0,00	2,32	Weibull
34	79,08	945	0,87	0,00	1,38	Weibull
35	93,54	546	0,81	0,37	1,56	Weibull
36	101,59	551	0,78	1,45	2,30	Weibull
38	82,87	633	0,84	1,73	1,63	Weibull
39	100,69	181	0,82	0,00	2,07	Weibull
40	106,1	219	0,80	0,00	0,40	Lognormal
42	81,48	401	0,86	0,25	1,01	Weibull
43	100,47	182	0,77	0,55	2,43	Weibull
48	109,79	215	0,71	1,86	3,08	Weibull
58	75,27	464	0,66	0,86	4,00	Weibull
59	89,37	208	0,70	0,00	3,79	Weibull
66	71,74	278	0,82	0,00	0,66	Lognormal
69	69,77	104	0,72	2,88	0,89	Lognormal
70	77,78	731	0,91	0,13	0,05	Lognormal
71	94,83	189	0,78	0,00	0,56	Lognormal
82	58,9	93	0,67	1,07	3,87	Lognormal
94	77,22	362	0,74	1,65	1,81	Weibull
95	84,8	160	0,82	0,62	0,48	Lognormal

Tabela 5.2– Resultados das análises estatísticas CAPL

Pode-se observar que nas tabelas 5.1 e 5.2 os valores das faixas em que a porcentagem de produção não segue a produtividade esperada de modo uniforme.

Esta variação se deve à área de seção transversal da bobina, ou seja, à área resultante de um corte transversal ao comprimento da chapa, quanto mais produtos processados em valores inferiores de seção transversal, mais afetada é a meta de produtividade, pois teremos menos material processando na unidade de tempo.

Este fator ocorre aleatoriamente, pois é função do mix de vendas de produtos, ou seja, dos pedidos dos clientes.

Seguem as análises das seções transversais das faixas 30, 34 e 46 do PLTCM e 3 e 82 do CAPL, onde se pode notar que o fator de maior impacto na produtividade é a seção transversal, quanto menor, menor a produtividade para esta faixa.

Faixa 30 do laminador a frio contínuo PLTCM (conforme Tabela 3.3)

% de Perda Esperada = 3,74% da produção

n = 2.875 bobinas

Média de seção transversal de faixas dentro dos limites = 1.654,5 mm²

Média de seção transversal de faixas fora dos limites = 1.320,4 mm²

Faixa 34 do laminador a frio contínuo PLTCM (conforme Tabela 3.3)

% de Perda Esperada = 2,49% da produção

n = 1.661 bobinas

Média de seção transversal de faixas dentro dos limites = 544,0 mm²

Média de seção transversal de faixas fora dos limites = 508,8 mm²

Faixa 46 do laminador a frio contínuo PLTCM (conforme Tabela 3.3)

% de Perda Esperada = 6,95% da produção

n = 5.994 bobinas

Média de seção transversal de faixas dentro dos limites = 1.672,0 mm²

Média de seção transversal de faixas fora dos limites = 1.371,0 mm²

Faixa 3 do recozimento contínuo CAPL (conforme Tabela 3.4)

% de Perda Esperada = 5,81% da produção

n = 190 bobinas

Média de seção transversal de faixas dentro dos limites = 551,9 mm²

Média de seção transversal de faixas fora dos limites = 538,5 mm²

Faixa 82 do recozimento contínuo CAPL (conforme Tabela 3.4)

% de Perda Esperada = 3,87% da produção

n = 93 bobinas

Média de seção transversal de faixas dentro dos limites = 844,3 mm²

Média de seção transversal de faixas fora dos limites = 840,4 mm²

Além do impacto da seção transversal, existem outros fatores menores que também afetam a porcentagem de resultados a não atingir a meta, como por exemplo, defeitos superficiais na chapa que forcem reduções de ritmo da linha para permitir inspeções, diferença na experiência e treinamento das equipes e interrupções por quebras de equipamentos.

A análise dos impactos acima citados não é possível de ser realizada devido à complexidade da análise e de não ser o foco do trabalho.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

O desenvolvimento deste trabalho possibilitou uma validação das metas de processamento dos materiais produzidos na planta de laminação a frio (PLTCM e CAPL), bem como os parâmetros que influenciam na utilização do modelo atual de determinação de metas de produtividade de cada processo.

A extensão deste tipo de análise para outras linhas de processos fabris em nossa unidade de negócio será benéfica e trará a compreensão e validação fundamentada em análises estatísticas do procedimento de elaboração de metas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

USIMINAS. Catálogo de Especificação de Produtos Laminados a Frio da Usiminas, 2014. <http://usiminas.com/wp-content/uploads/2014/02/novo-laminados-frio-v20-baixa.pdf>. Acessado em 24 de novembro de 2015.

[17] Minitab 17. Disponível em:

<http://www.minitab.com/ptBR/products/minitab/features/>. Acessado em 24 de Novembro de 2015.

WERKEMA, M.C.C. Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995. 404 p.

GONZALEZ, U.M.S.P Índices de capacidade do processo para distribuições não normais: uma aplicação na indústria metalúrgica. 2013. 26 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agronômica) - Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura, Piracicaba, 2013.

Kane, V.E. (1986), "Process capability indices", Journal of Quality Technology, Vol. 18 No. 1, pp. 41-52.

Montgomery, D.C. (2004), Introdução ao controle estatístico da qualidade, LTC: Brasil, RJ.

Palmer, K. and Tsui, K.L. (1999), "A review and interpretations of process capability indices", Annals of Operations Research, Vol. 87, pp. 31-47.

SOUZA, S.F Índices de capacidade para gráficos de controle baseados em modelos de regressão. 2010. 23 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção, Modalidade Acadêmica, na área de concentração em Sistemas de

Qualidade) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2010.

COSTA, A. F. B., EPPRECHT E. K., CARPINETTI, L. C. R. Controle estatístico de qualidade. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2005. 334p.

Mucidas, H.J Aplicação do Controle Estatístico do Processo no Envase de Leite UHT em uma Indústria de Laticínios. 2010. 34 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.

Follmer, E. Implementação de Controle Estatístico de Processos em uma Etapa de processo de Galvanização de Arames: estudo de caso no processo de decapagem ácida. 2013. 8-9 pp. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

OLIVEIRA, B. J., SOUTO R. R., MAIA, A. D. R., MEIRA, A. J., LIMA, P. S. V., Análise da Capacidade de um Processo. XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Belo Horizonte, MG, Brasil, 04 a 07 de outubro de 2011. Enegep, 2011.